



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y
CALEFACCIÓN DE UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR SITUADA EN SANTANDER**

TRABAJO FIN DE GRADO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA

AUTOR: PEDRO VILLA PELLICER

TUTOR: NÉSTOR GARCÍA HERNANDO

SEPTIEMBRE 2016

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA
VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: Pedro Villa Pellicer

Tutor: Néstor García Hernando

EL TRIBUNAL:

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Grado el día ____ de _____ de 20 ____ en Leganés en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la calificación de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría permitirme un espacio en este proyecto para agradecer todo el cariño y el apoyo recibido durante estos años universitarios. En especial a mis padres y mis hermanos quienes, sin su guía, no sería la persona que soy ahora.

Mencionar a todos los amigos con los que he pasado buenos momentos y he compartido los no tan buenos.

Agradecer a todos los profesores que han pasado por mi vida y de los que he conseguido aprender algo útil para la vida.

Por último, agradecer a José María y a Susi por ayudarme tantísimo en la parte técnica para la realización de este proyecto.

“El trabajo dignifica al hombre”

Karl Marx

RESUMEN

Con este documento se pretende concienciar a la sociedad española que el uso de energías renovables es un recurso viable y eficaz para reducir el impacto medioambiental que genera el consumo de recursos los energéticos convencionales como los productos derivados del petróleo.

En este proyecto se realiza un estudio de viabilidad técnica y económica de la instalación de un sistema de captación solar térmica para la obtención de Agua Caliente Sanitaria en una vivienda unifamiliar de antigua construcción situada en Santander, norte de España. Así mismo, se proyecta la sustitución de la red de calefacción y de Agua Caliente Sanitaria convencional mantenida mediante el consumo de gasoil por una red adecuada a la normativa actual en la que se emplea la biomasa como fuente de energía.

En primer lugar, se determinan conceptos básicos sobre la radiación solar necesarios para entender el análisis realizado en el proyecto.

Seguidamente, se realiza una breve descripción de la vivienda intervenida para, a continuación, proceder a establecer los datos meteorológicos de partida, así como las condiciones de diseño que se van a evaluar.

Posteriormente, se procede al estudio en sí del proyecto, en donde se consideran los puntos de descripción, diseño y dimensionado de la instalación propuesta.

Finalmente, se realiza un análisis de ahorro energético y medioambiental, así como un estudio económico donde queda reflejada la viabilidad económica del proyecto.

Para la realización de este estudio se ha empleado el software de cálculo “Mathcad”, el software de dibujo “AutoCAD” y el software “Microsoft Excell 2016”.

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

0. PRESENTACIÓN.....	13
1. OBJETIVO.....	14
2. INTRODUCCIÓN.....	15
3. ESTADO DEL ARTE.....	17
4. DESCRIPCIÓN Y ESTUDIO DE LA VIVIENDA.....	19
5. DATOS INICIALES.....	20
5.1 DATOS METEOROLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS.....	20
5.2 CONSUMO ACS.....	22
5.3 CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA.....	25
5.4 CARGAS TÉRMICAS.....	27
5.4.1 CONDICIONES DE DISEÑO.....	27
5.4.1.1 AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR.....	27
5.4.1.2 AMBIENTE TÉRMICO EXTERIOR.....	27
5.4.1.3 CARGAS A CONSIDERAR.....	29
5.4.2 CARGAS TÉRMICAS DE TRANSMISIÓN.....	29
5.4.2.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION.....	30
5.4.2.2 SUPERFICIES DE CONTACTO.....	38
5.4.2.3 VALORES DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE TRANSMISIÓN.....	40
5.4.3 CARGA TÉRMICA DE RENOVACIÓN.....	41
5.4.4 CARGA TÉRMICA DE INFILTRACIÓN.....	42
6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	45
6.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	45
6.2 CAPTACIÓN.....	45
6.2.1 COLECTOR SOLAR.....	45
6.2.2 INTERCAMBIADOR.....	54
6.2.3 ALMACENAMIENTO.....	54
6.2.4 TUBERÍAS.....	55
6.2.5 AISLANTE DE TUBERÍAS.....	55
6.2.6 OTROS ELEMENTOS.....	55
6.3 AGUA CALIENTE SANITARIA.....	56
6.4 CALEFACCIÓN.....	57
6.5 CALDERA DE APOORTE.....	57
6.6 CONTROL.....	58
7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	59
7.1 INSTALACIÓN SOLAR.....	59
7.1.1 RADIACIÓN.....	61
7.1.2 BALANCES DE ENERGÍA.....	64
7.1.3 RESOLUCIÓN DEL SISTEMA.....	71
7.2 DISTRIBUCIÓN DE ACS.....	73
7.3 INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.....	73

8.	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN.....	77
8.1	DIMENSIONADO INSTALACIÓN SOLAR.....	77
8.1.1	TUBERÍAS.....	77
8.1.2	INTERACUMULADOR SOLAR.....	83
8.1.3	BOMBA CIRCUITO SOLAR.....	85
8.1.4	VASO DE EXPANSIÓN CIRCUITO PRIMARIO SOLAR.....	88
8.1.5	VASO DE EXPANSION CIRCUITO SECUNDARIO SOLAR.....	90
8.2	DIMENSIONADO DE INSTALACIÓN DE ACS.....	92
8.2.1	INTERACUMULADOR ACS.....	92
8.2.2	TUBERÍAS.....	95
8.2.3	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN.....	97
8.2.4	VASO DE EXPANSIÓN CIRCUITO ACS.....	99
8.2.5	BOMBA ACS.....	101
8.3	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN....	103
8.3.1	TUBERÍAS.....	103
8.3.2	BOMBA DÍA.....	106
8.3.3	BOMBA NOCHE.....	106
8.4	DIMENSIONADO SISTEMA DE APOORTE.....	107
8.4.1	AGUJA HIDRÁULICA.....	108
8.4.2	BOMBA SISTEMA DE APOORTE.....	111
8.4.3	CALDERA DE APOORTE.....	112
8.4.4	VASO DE EXPANSIÓN SISTEMA DE APOORTE.....	125
9.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	128
10.	IMPACTO AMBIENTAL.....	132
11.	ESTUDIO ECONÓMICO.....	137
12.	CONCLUSIONES.....	143
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	144
14.	ANEXO I: PLANOS Y DIAGRAMAS.....	146
14.1	PROPIEDADES PROPILENGLICOL EN AGUA.....	146
14.2	PROPIEDADES DEL AGUA.....	149
14.3	PROPIEDADES DEL AIRE.....	151
14.4	PROPIEDADES AISLANTE DE TUBERIA.....	152
14.5	PROPIEDADES DEL COBRE.....	153
14.6	FICHA CARACTERÍSTICAS: COLECTOR SOLAR.....	154
14.7	FICHA CARACTERÍSTICAS: BOMBA.....	155
14.8	FICHA CARACTERÍSTICAS: INTERACUMULADO.....	157
14.9	FICHA CARACTERÍSTICAS: RADIADOR.....	159
14.10	FICHA CARACTERÍSTICAS: CALDERA DE APOORTE.....	160
14.11	PLANOS.....	162
14.12	ESQUEMA DE INSTALACIÓN.....	169

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Temperatura ambiente media mensual.....	20
Tabla 2: Temperatura del agua de red de distribución.....	20
Tabla 3: Irradiación global sobre plano horizontal.....	21
Tabla 4: Ratio entre la irradiación difusa y la global.....	21
Tabla 5: Irradiación difusa sobre plano horizontal	21
Tabla 6: Número de personas en función de los dormitorios.....	22
Tabla 7: Consumo diario por persona de ACS a 60°C según tipo de edificación	22
Tabla 8: Número medio de horas de sol diario mensual.....	23
Tabla 9: Gasto másico de ACS mensual.....	24
Tabla 10: Potencia media mensual de ACS producida por energía solar.....	24
Tabla 11: Contribución solar mínima en porcentaje en función de la zona climática y de la demanda total de ACS.....	26
Tabla 12: Condiciones de ambiente térmico interior.....	27
Tabla 13: Zonas climáticas de la Península Ibérica.....	28
Tabla 14: Transmitancias límite en diferentes elementos estructurales.....	30
Tabla 15: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior..	30
Tabla 16: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos que separan el local aclimatado con otro local, desván o cámara de aire.....	31
Tabla 17: Composición del cerramiento exterior.....	32
Tabla 18: Resistencias térmicas convectivas en la fachada exterior.....	33
Tabla 19: Composición de las ventanas.....	33
Tabla 20: Resistencias térmicas convectivas en las ventanas.....	34
Tabla 21: Composición del suelo.....	35
Tabla 22: Resistencias térmicas convectivas en el suelo de la primera planta.....	35
Tabla 23: Composición del techo.....	36
Tabla 24: Resistencias térmicas convectivas en el techo de la segunda planta.....	37
Tabla 25: Resumen de coeficientes globales de transmisión.....	37
Tabla 26: Superficie de cerramientos exteriores.....	38
Tabla 27: Superficie de ventanas.....	39
Tabla 28: Superficie suelo/techo.....	39

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Tabla 29: Factores de orientación.....	40
Tabla 30: Carga térmica de transmisión.....	40
Tabla 31: Carga térmica de renovación.....	41
Tabla 32: Carga térmica de infiltración.....	43
Tabla 33: Calefacción total necesaria.....	44
Tabla 34: Constantes de cálculo de las propiedades del propilenglicol disuelto.....	51
Tabla 35: Solución del sistema.....	71
Tabla 36: Potencia térmica generada en los captadores solares	72
Tabla 37: Datos técnicos radiadores XIAN	74
Tabla 38: Calefacción	76
Tabla 39: Factor K de pérdidas para accesorios	86
Tabla 40: Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato	95
Tabla 41: Diámetros mínimos de alimentación	96
Tabla 42: Diámetros mínimos de ramal	96
Tabla 43: Caudal de recirculación	97
Tabla 44: Tabla de dimensionamiento del ramal DIA	104
Tabla 45: Tabla de dimensionamiento del ramal NOCHE	105
Tabla 46: Plan de vigilancia	128
Tabla 47: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de captación I	129
Tabla 48: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de acumulación	129
Tabla 49: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de intercambio	129
Tabla 50: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de captación II.....	130
Tabla 51: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico y control....	130
Tabla 52: Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de aporte	130
Tabla 53: Emisiones de diferentes gases contaminantes por cada kWh térmico producido	133
Tabla 54: Emisiones de diferentes gases contaminantes por cada kWh térmico producido según tipo de central.....	133
Tabla 55: Emisiones de diferentes gases contaminantes por cada kWh eléctrico producido...	134
Tabla 56: Consumos y emisiones de la instalación proyectada.....	135
Tabla 57: Consumos y emisiones de la instalación convencional ficticia	135
Tabla 58: Presupuesto del proyecto	138

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Trayectoria del sol. Esfera terrestre en la que se ilustra el ángulo de declinación.	15
Ilustración 2: Efectos atmosféricos sobre la radiación solar	16
Ilustración 3: Temperatura ambiente y temperatura de agua de red	21
Ilustración 4: Factor de uso de ACS mensual	23
Ilustración 5: Mapa de zonas climáticas	25
Ilustración 6: Esquema de cerramiento exterior	32
Ilustración 7: Esquema de ventanas	34
Ilustración 8: Esquema suelo primera planta	35
Ilustración 9: Esquema techo de la segunda planta	36
Ilustración 10: Efecto invernadero en el interior de un colector solar plano	46
Ilustración 11: Elementos que forman un colector solar plano	47
Ilustración 12: Composición en serie de los colectores	48
Ilustración 13: Esquema del retorno invertido	49
Ilustración 14: Composición en paralelo de los colectores	49
Ilustración 15: Variación de la temperatura de congelación con la proporción de propilenglicol en agua	50
Ilustración 16: Densidad del propilenglicol	52
Ilustración 17: Poder calorífico del propilenglicol	52
Ilustración 18: Conductividad térmica del propilenglicol	53
Ilustración 19: Viscosidad dinámica del propilenglicol	53
Ilustración 20: Esquema básico de la instalación solar	60
Ilustración 21: Esquema de balances de energía básico de la instalación solar	64
Ilustración 22: Detalle del circuito primario	64
Ilustración 23: Detalle del intercambiador de calor	66
Ilustración 24: Balance de energía en el acumulador solar	67
Ilustración 25: Esquema simplificado de la distribución	68
Ilustración 26: Esquema simplificado de la distribución y grado de estratificación	68
Ilustración 27: Variación anual del rendimiento del captador y del aporte solar	72
Ilustración 28: Esquema de resistencias térmicas en tubo aislado	78

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Ilustración 29: Balance de energía en la tubería	83
Ilustración 30: Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4	87
Ilustración 31: Vaso de expansión 5 SMF	89
Ilustración 32: Vaso de expansión 40 ACS	91
Ilustración 33: Interacumulador INOXUNIT/ES 80-P de FÉRROLI	94
Ilustración 34: Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4	98
Ilustración 35: Vaso de expansión 18 CMR	100
Ilustración 36: Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4	102
Ilustración 37: Sección de aguja hidráulica	108
Ilustración 38: Esquema de funcionamiento y dimensionado de una botella de equilibrio hidráulico	109
Ilustración 39: Separador hidráulico AC 71 752	110
Ilustración 40: Esquema de resistencias térmicas en tubo aislado	114
Ilustración 41: Esquema de resistencias térmicas en tubo aislado	120
Ilustración 42: Caldera de pellets NATURFIRE 25 de la marca FÉRROLI	124
Ilustración 43: Vaso de expansión 25 CMF	127
Ilustración 44: Esquema gráfico de emisiones de la biomasa	133
Ilustración 45: Cobertura de demanda eléctrica en España año 2015	134
Ilustración 46: Valor Actual Neto durante los años de vida útil	141
Ilustración 47: Valor Actual Neto sin ayudas	142

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

0. PRESENTACIÓN.

El desarrollo de la sociedad, la economía y la política de los países del mundo implica un aumento en el consumo de energía.

Durante décadas, este consumo de recursos energéticos ha estado estrechamente ligado a la industria del petróleo. Una industria que ha hecho posible el uso de la energía de una manera barata, fácil y rápida, fomentando la filosofía consumista “del hoy” pero sin mostrar gran interés en la situación global del futuro, de las generaciones venideras, de nuestra generación.

Así, el uso abusivo de los productos derivados del petróleo ha llevado a una preocupación medioambiental, sanitaria y económica a nivel mundial.

El método convencional de obtención de energía implica la combustión de estos productos que, durante este proceso, liberan una gran cantidad de sustancias nocivas y contaminantes.

El dióxido de carbono (CO_2) se encuentra de manera natural en la atmósfera terrestre, cumpliendo dos funciones básicas: servir de elemento sustancial para la vida de la flora y funcionar como efecto invernadero, evitando que parte del calor irradiado por la Tierra escape fuera de la atmósfera.

Con el aumento de emisiones de CO_2 por la actividad humana este efecto invernadero excesivo provoca lo que se conoce como calentamiento global.

Para evitar que ocurran estas alteraciones medioambientales en la que también se incluye la lluvia ácida, provocada por los NO_x emitidos durante la combustión de los hidrocarburos, se busca la reducción del uso de energías convencionales y se busca utilizar fuentes de energía “limpias”.

Con la firma del Protocolo de Kyoto y del Protocolo de Montreal, la mayoría de las naciones industrializadas se comprometieron a reducir sus emisiones de gases contaminantes, utilizar recursos energéticos renovables y a organizar planes de ahorro energético.

La búsqueda de nuevas fuentes de energía ha abierto un nuevo mercado de desarrollo en el sector energético haciendo viable el aprovechamiento de las energías renovables tales como la energía solar, eólica, hídrica, geotérmica, marina y el avance en el estudio y uso de la biomasa.

En este proyecto nos centraremos en el uso de la energía solar térmica de baja temperatura con la finalidad de disponer de Agua Caliente Sanitaria en una vivienda.

Si bien es cierto que en España disponemos de unas condiciones climatológicas y geográficas privilegiadas para el uso de la energía solar de forma muy extendida debido a la gran cantidad de radiación solar que recibe, el marco legal, político, económico y social condiciona notablemente su uso y su interés por seguir desarrollándose.

1. OBJETIVO.

El principal objetivo de este proyecto es el diseño y análisis de una instalación solar térmica para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y mejora del sistema de calefacción mediante empleo de biomasa en una vivienda unifamiliar de antigua construcción situada en Santander, Cantabria, cumpliendo las condiciones indicadas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), así como la Ordenanza Municipal de Santander.

Para llevar a cabo este diseño se han tomado mediciones meteorológicas mensuales con el fin de obtener un valor aproximado de las condiciones futuras a las que estará sometida la vivienda. Por tanto, los cálculos están basados en datos estadísticos y dotan de un gran carácter probabilístico al funcionamiento final del sistema.

Debido al desfase temporal existente entre el consumo y la obtención de energía en un sistema de estas características, además de dimensionar y analizar el sistema de captación solar, también es necesario estudiar los sistemas de acumulación y de aporte energético auxiliar, necesarios para satisfacer la demanda de ACS y calefacción durante todo el año y todas las horas del día.

Aunque la zona geográfica elegida para este proyecto no es la idónea para situar una instalación de energía solar debido a su aparente climatología, se quiere demostrar que es viable tanto técnica como económicamente, por lo que se dimensionarán todos los elementos para que cumplan su función correctamente y se hará un presupuesto general de la instalación, componentes, mantenimiento y ahorro de energía; y estudiando la rentabilidad del mismo.

Finalmente, y como consecuencia de la motivación a la realización de este proyecto, se estudiará el aspecto medioambiental que conlleva la instalación de este sistema de energía solar térmica con la aplicación de ACS, calculando la cantidad de ahorro de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

2. INTRODUCCIÓN.

Debido al motivo de estudio de este proyecto es importante dejar constancia de algunos conocimientos respecto a la energía solar.

Con un diámetro de 1.392 millones de kilómetros y situado a una distancia media de 149.597 millones de kilómetros de La Tierra, el Sol es la estrella respecto a la que giran los planetas del Sistema Solar.

Visto desde la tierra, el ángulo que llena en el cielo es de 32°.

Como cuerpo caliente que es emite energía en forma de radiación en todas las direcciones. Esta energía solar se propaga en línea recta por lo que se puede aceptar que llega en forma de haz de rayos paralelos a la tierra.

El valor de la radiación solar se estima como la radiación que emite un cuerpo negro a la temperatura equivalente de 5777 K. Por tanto, a la energía que llega fuera de la atmósfera terrestre se denomina irradiación extraterrestre:

$$G_{0n_i} := 1367 \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n_i}{365} \cdot \text{deg} \right) \right) \cdot \frac{W}{m^2}$$

Como valor medio se toma $G_{0n}=1367 \text{ W/m}^2$.

Se sabe que el eje terrestre tiene una inclinación aproximada de 23.45° respecto al plano orbital. Por tanto, se denomina Ángulo de Declinación (δ) a aquel que forma la dirección de los rayos del Sol y el ecuador terrestre, tomándose como positivos los valores del hemisferio norte y negativos los del hemisferio sur.

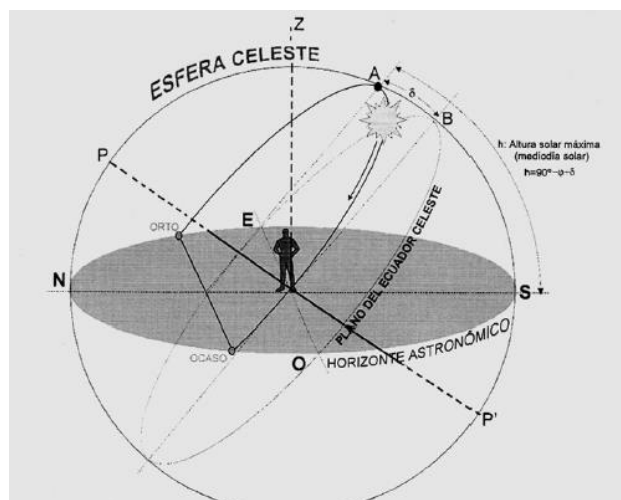


Ilustración 1. Trayectoria del sol. Esfera terrestre en la que se ilustra el ángulo de declinación(δ).

(J. Cañada, 2008. " Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones ")

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

En general, para estudiar una instalación solar, se define la hora solar (ω) y la latitud (ϕ) del observador, así como la inclinación (β) y la orientación (γ) del colector solar.

De estos ángulos se derivan: ángulo zenital (θ_s), altura solar (α_s), ángulo azimutal (γ_s), ángulo de incidencia (θ), ángulos horarios de salida y puesta de sol (ω_s) y la duración del día (DD).

Por otro lado, de toda la radiación que llega a la atmósfera, solo una parte consigue alcanzar la superficie terrestre. Esto es debido a la absorción por parte del ozono (O_3) en bandas de ultravioleta y del agua (H_2O) y del dióxido de carbono (CO_2) en bandas de infrarrojo; y a la dispersión producida por la interacción de la luz con las moléculas de aire, agua y los elementos en suspensión que puedan existir.

Además, cuando la luz atraviesa la atmósfera pierde parte de la direccionalidad que ha guardado desde el Sol hasta la atmósfera, es decir que aparece una radiación difusa.

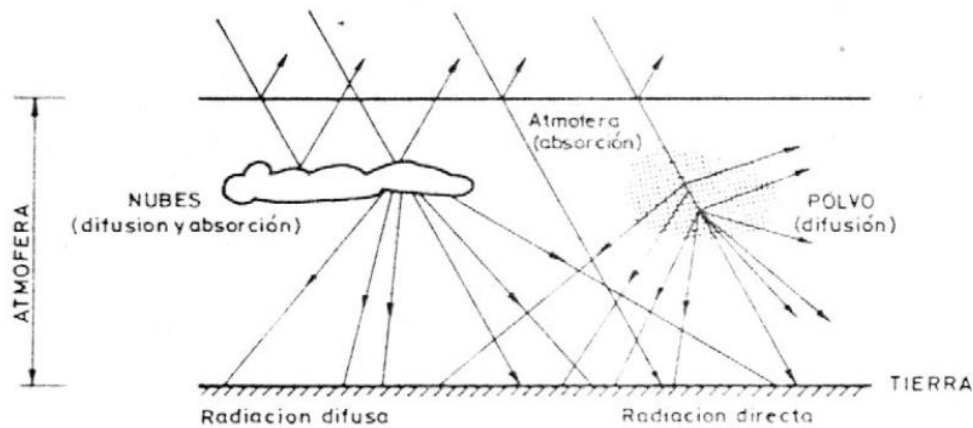


Ilustración 2. Efectos atmosféricos sobre la radiación solar. (Apuntes Energías Renovables. UC3M)

Los datos disponibles de todos estos elementos de cálculo están disponibles para la radiación sobre un plano horizontal. Usualmente los colectores no estarán colocados de forma horizontal ya que se inclinan para que aumente su capacidad de absorber energía, por tanto, mediante diferentes métodos de cálculo es necesario obtener valores de radiación para la inclinación del colector elegida.

3. ESTADO DEL ARTE

La morfología del cuerpo humano hace necesario el uso de agentes externos para mantener la temperatura interior del cuerpo durante los periodos en los que la temperatura ambiente es mucho inferior.

Desde los inicios de la humanidad, los habitantes de las zonas más frías conseguían mantener una temperatura corporal mediante el empleo de vestimentas de piel y pelaje de otros animales.

El poder de controlar el fuego hizo que se redefiniera el concepto de calefacción. En ese momento empezó a ser necesario desplazarse y buscar combustibles, madera principalmente, para quemar, creando un lazo de dependencia entre supervivencia y movilidad.

El principal problema de la combustión directa es que requiere aire y expulsa humos. En las termas de Olimpia y Siracusa, los antiguos griegos desarrollaron el primer sistema de calefacción denominado “hipocausto” con el cual consiguieron evitar usar este calor de forma directa. El foco caliente estaba en un habitáculo separado del que se quería aclimatar y, mediante una red de canalizaciones en el suelo y las paredes, circulaba el humo caliente de la combustión. Por esta época se encuentra la primera referencia histórica en el uso de la energía solar. Durante la batalla de Siracusa en el siglo III a.C, Arquímedes empleó un sistema de espejos de bronce pulido para reflejar los rayos del sol con el objetivo de destruir a los romanos.

A partir del siglo XI d.C, las chimeneas de los hogares comienzan a ser elementos imprescindibles en la arquitectura. Este sistema fue mejorando técnicamente pero nunca llegó a ser un sistema eficaz, puesto que no deja de ser un sistema de combustión abierta en el que es necesario aire frío para mantener la combustión

Esto cambió con la aparición de la estufa. La entrada de aire estaba regulada lo que hacía posible la variación de calor emitido.

En el año 1868, Agustin Mouchot desarrolló los primeros sensores solares, lo cual dio lugar a un arranque en el desarrollo de esta tecnología. En 1900 se fundó la primera empresa de energía solar, *The Solar Motor Co.*

Durante la Revolución Industrial se empezaron a desarrollar las máquinas de vapor para el funcionamiento de la maquinaria dinámica, por lo que se estudia y desarrolla la canalización del vapor por tuberías.

A partir de principios del siglo XX, estos sistemas de circulación de vapor calentado se extienden al uso doméstico, comenzándose a instalar calderas de carbón, tuberías y radiadores. El vapor circulaba gracias al efecto de termosifón, mediante por la baja densidad del vapor más caliente, ascendía y circulaba por la instalación.

A medida que se fue desarrollando el sistema, el vapor fue sustituido por agua movido por bombas, y el carbón se fue sustituyendo por combustibles derivados del petróleo: fueloil, gasóleo y a partir de los años 60, gas natural.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Actualmente la tecnología de combustión está muy desarrollada, mientras que la tecnología de energía solar está en proceso de desarrollo.

Debido a la actual red de distribución de gas natural en las ciudades, la inmensa mayoría de calderas instaladas en los hogares son de gas, bien sean calderas murales, calderas estancas o calderas de condensación. Sin embargo, en las zonas rurales o aisladas a las que no llega la red de distribución de gas natural, el combustible utilizado suele ser gas butano, gasoil y, recientemente, biomasa.

En cuanto a la energía solar térmica, actualmente existen varios tipos de captadores según su aplicación.

Los captadores planos se utilizan en aplicaciones de baja temperatura (hasta 60°C), esto es sistemas de ACS, calefacción, piscinas, secaderos...

Para media temperatura (60-400°C) se emplean captadores de vacío y concentradores.

Por último, para aplicaciones de alta temperatura (400-3000°C) como procesos industriales de alta temperatura y generación eléctrica, se utilizan concentradores y parques de heliostatos.

Para mejorar el rendimiento de los captadores solares, a menudo se emplean sistemas de seguimiento solar, mediante el cual el colector va variando su posición a lo largo del día a medida que lo hace el sol. Estos sistemas de seguimiento pueden ser con sistema concentrador o sin él. Se puede diferenciar entre seguimiento en un solo eje o en dos ejes, continuo o semicontinuo, automático o manual y programados o realimentados.

4. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.

La edificación estudiada es una vivienda unifamiliar situada en la localidad de Santander, en Cantabria de antigua construcción. Debido a esta condición no está en obligado cumplimiento de la normativa actual sobre eficiencia energética.

Se trata de una vivienda de 220 m² situada en un terreno aislado de 1240 m² por lo que no encuentra sombras de ninguna edificación adyacente y con espacio suficiente en la cubierta con orientación sur para la colocación de los colectores solares.

La vivienda consta de tres plantas. Una planta baja no habitable que funciona a modo de garaje, almacén y cuarto de calderas, una primera planta que está destinada al uso diurno: salón, cocina, pasillo, baño y dos habitaciones; y una segunda planta destinada al uso nocturno: dos dormitorios principales, un baño y un estudio. Por último, entre la cubierta y la segunda planta existe un espacio no habitable abuhardillado.

Debido a las suaves temperaturas en verano y siguiendo el tipo de instalación tradicional de la zona se ha optado por no estudiar el uso de climatizadores y otros elementos que refrigeren el interior de la vivienda en los meses de verano. Así el único aporte energético que debemos considerar es el necesario para la calefacción y para el Agua Caliente Sanitaria.

Además, se puede afirmar que, durante todo el año, pero especialmente en los meses más fríos, la carga térmica es mucho mayor en la aplicación de calefacción que para ACS. Por esto, y como se describirá más adelante, se procede al dimensionado del sistema solar para suplir las necesidades térmicas exclusivamente debidas al ACS, evitando así un sobredimensionado y sobre coste del sistema solar. No obstante, se calculará y dimensionará el sistema de apoyo para que pueda cubrir todas las necesidades térmicas.

El sistema de calefacción propuesto está basado en la instalación de radiadores de aluminio por los espacios habitables de la vivienda.

Por otro lado, se propone dotar de ACS:

- Planta baja: Ducha y lavadero.
- Primera planta: lavadero, lavadora, lavavajillas, ducha y dos lavabos.
- Segunda planta: bañera y lavabo.

Aunque la planta baja sea un espacio no habitable, se le dotará de dos tomas de ACS para mejorar el confort.

5. DATOS INICIALES

5.1 DATOS METEOROLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS

Debido a que este proyecto se basa en la utilización de energía solar, debemos definir los datos meteorológicos, así como los geográficos.

El valor de estos datos no puede conocerse previamente por tanto nos basamos en datos históricos obtenidos en estaciones meteorológicas, lo que dota de un carácter estadístico a los valores elegidos.

Además, para la realización de este proyecto no es necesario conocer los valores transitorios de funcionamiento pues consideraremos y estudiaremos el funcionamiento estacional de los elementos. Por este motivo tomamos valores medios mensuales de los datos de radiación, temperatura y velocidad del viento. Estos datos están obtenidos de la Comisión Europea JRC la cual emplea la base de datos PVGIS-CMSAF y de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Santander:

- Altitud: 16 metros
- Latitud: 43.3° Norte
- Longitud: 3.5° Oeste
- Temperatura mínima histórica: -1.7°C
- Velocidad media del viento: 6.6 [m/s]
- Temperatura ambiente media mensual [°C]:

T ₀	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[°C]	7.8	8.6	11.3	12.2	14.8	17.4	18.5	18.8	17.9	15.8	11.3	8.8

Tabla 1. Temperatura ambiente media mensual (JRC: PVGIS-CMSAF)

- Temperatura del agua de red de distribución siguiendo la norma UNE 94002/2005. Esta temperatura es la de entrada del agua de la red de distribución pública a los sistemas del edificio:

T _{red}	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[°C]	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10

Tabla 2. Temperatura del agua de red de distribución (CTE)

- Reflectividad del suelo: 0.2

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

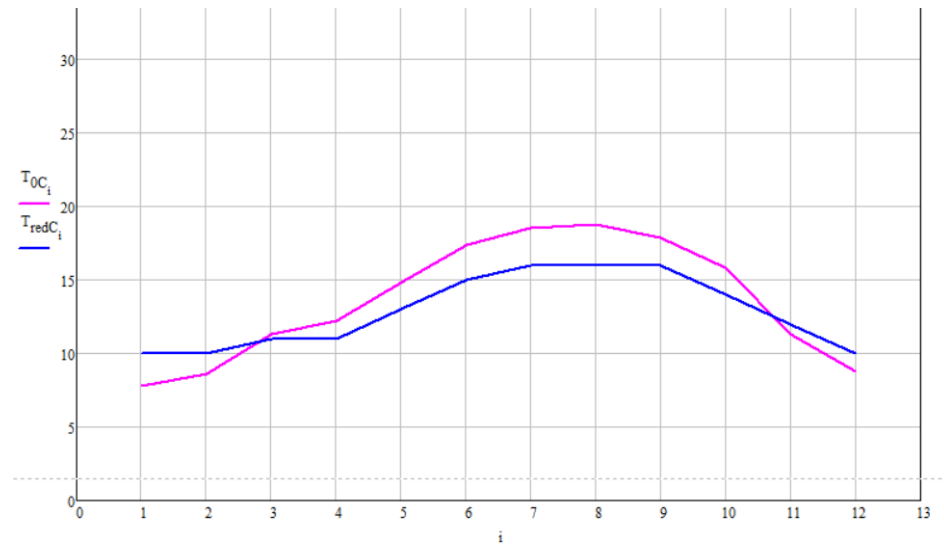


Ilustración 3. Temperatura media ambiente (T_0) y temperatura de agua de red (T_{red})

- Irradiación global diaria media de cada mes sobre plano horizontal [$W \cdot h / (m^2 \cdot dia)$]:

H_{ad}	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[$W \cdot h / (m^2 \cdot dia)$]	1410	2180	3610	4380	4960	5400	5430	4700	4100	2730	1550	1310

Tabla 3. Irradiación global sobre plano horizontal (JRC: PVGIS-CMSAF)

- Ratio entre la irradiación difusa y la global:

D/G	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[-]	0.56	0.51	0.48	0.46	0.48	0.44	0.41	0.43	0.39	0.48	0.54	0.54

Tabla 4: Ratio entre la irradiación difusa y la global (JRC: PVGIS-CMSAF)

De los valores de Irradiación sobre plano horizontal y el ratio entre la irradiación difusa y la global se obtiene el valor de la irradiación difusa media de cada mes sobre plano horizontal.

- Irradiación difusa diaria media de cada mes:

H_{dad}	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[$W \cdot h / (m^2 \cdot dia)$]	789.6	1111.8	1732.8	2014.8	2380.8	2376	2226.3	2051.1	1599	1310.4	837	707.4

Tabla 5. Irradiación difusa sobre plano horizontal (JRC: PVGIS-CMSAF)

5.2 CONSUMO ACS

El consumo de Agua Caliente Sanitaria depende de los siguientes factores: Número de personas que habitan la vivienda, tipo de edificación, mes del año objeto de estudio y localización geográfica.

En primer lugar, establecemos el número mínimo de personas que ocupan la vivienda en función del número de dormitorios tal y como nos indica el Código Técnico de la Edificación:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 6. Número de personas en función de los dormitorios (CTE)

Siguiendo estas indicaciones, la vivienda de 5 dormitorios tendrá una ocupación de 6 personas.

Por otro lado, el Código Técnico de la Edificación dictamina que el consumo diario por persona de ACS a 60° según el tipo de edificación se establece según la siguiente tabla:

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 7. Consumo diario por persona de ACS a 60°C según el tipo de edificación (CTE)

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

En este caso, al tratarse de una vivienda tomamos el valor de 28 Litros/día*persona.

Con estos datos, obtenemos que la demanda total de Agua Caliente Sanitaria es:

$$Demanda_{ACS} = N \text{ (personas)} * Q \text{ (Litros/día * persona)}$$

$$Demanda_{ACS} = 6 * 28 = 168 \text{ Litros/día}$$

El consumo de ACS varía de un mes a otro, siendo mayor en los meses más fríos que en los meses en los que la temperatura ambiente sea mayor. Así, se aplica un factor que corrige la variación mensual de consumo (Documento Técnico de Instalaciones en la edificación, DTIE):

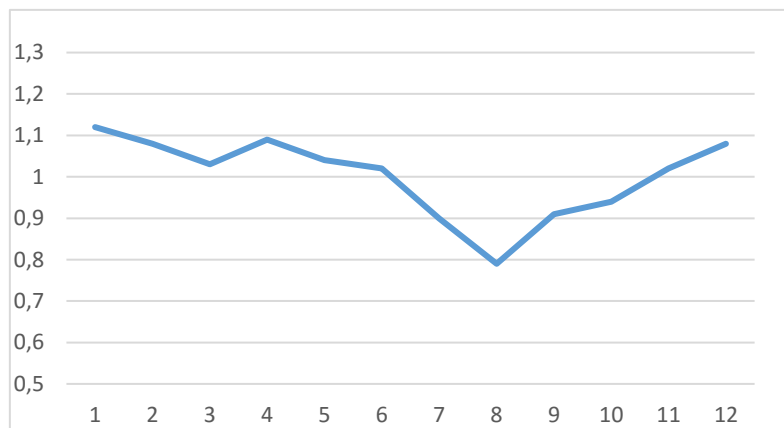


Ilustración 4. Factor de uso de ACS mensual (DTIE 1.01)

Debido a que se trata de una instalación solar, debemos considerar que la producción de ACS aprovechable solo será efectiva durante las horas de sol útil. Este factor depende directamente de la latitud en la que nuestra vivienda esté construida.

En la ciudad de Santander, el número de horas de sol diario medio mensual es:

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Horas sol	9.14	10.2	11.7	11.5	11	10.7	10.8	11.3	11.9	10.8	8.5	8.8

Tabla 8. Número medio de horas de sol diario mensual

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, el gasto másico de ACS que tiene que ser producido durante las horas de sol es:

$$\dot{m}_{cons} = \frac{D_{ACS} * \rho_{agua} * factor\ de\ uso}{Horas\ de\ sol}$$

Mensualmente;

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
(10 ⁻³) [Kg/s]	5.67	4.882	4.086	4.39	4.395	4.42	3.857	3.247	3.545	4.047	4.995	5.682

Tabla 9. Gasto másico ACS mensual

Con todo esto, se calcula que la potencia térmica media mensual de ACS producida mediante energía solar es:

$$Q_{col} = \dot{m}_{cons} * Cp_{agua} * (T_{suministro} - T_{red})$$

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
[kW]	0.398	0.458	0.514	0.509	0.493	0.503	0.482	0.442	0.503	0.495	0.398	0.432

Tabla 10. Potencia media mensual de ACS producida por energía solar

5.3 CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA.

El Código Técnico de la Edificación indica expresamente que los edificios de nueva construcción y a los edificios de antigua construcción que lleven a cabo una rehabilitación deben contar con una contribución solar mínima anual para la producción de Agua Caliente Sanitaria.

Así, se define la contribución solar como la relación existente entre la energía que aporta el sistema solar y la requerida para la producción de ACS.

Con el fin de que esta exigencia sea equilibrada para todos los edificios del territorio nacional, el CTE establece diferentes zonas climáticas en las que se exigirá una contribución solar diferente.

Por otra parte, también se caracteriza el tamaño de la instalación, debiendo ser necesaria una mayor contribución solar mínima para las instalaciones de mayor consumo diario de agua.

En la siguiente ilustración se muestra el mapa de zonas climáticas (CTE).

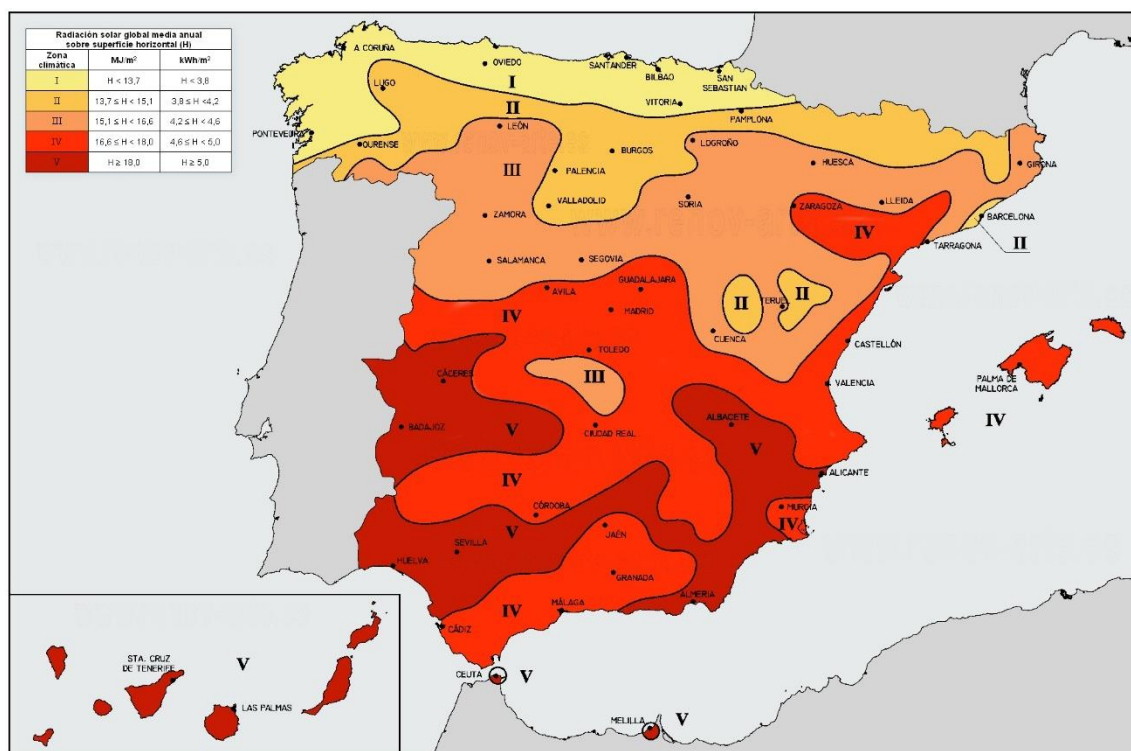


Ilustración 5. Mapa de zonas climáticas (CTE)

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Se observa que la ciudad de Santander queda situada en la zona I. En la siguiente tabla se establece la contribución solar mínima en función de la zona climática y de la demanda total de ACS en litros diarios. Al ser una instalación pequeña, queda dentro del rango de 50-5000 L/día:

Por tanto, siguiendo las indicaciones del CTE, la aportación solar mínima es del 30%

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Los intervalos de la tabla 2.1 deben considerarse del siguiente modo: 50- 5000; 5001 – 10.000 y > 10.000.

Tabla 11. Contribución solar mínima en porcentaje en función de la zona climática y de la demanda total de ACS (CTE)

A su vez, es necesario que este diseño cumpla la correspondiente Ordenanza Municipal.

En este caso, el Ayuntamiento de Santander, a través del Boletín Oficial de Cantabria (BOC)-Número 145 (2 agosto 2006) establece la Ordenanza Municipal sobre la Captación y el Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica.

En el Artículo 5 se indica que las instalaciones solares térmicas deben contar con una aportación solar mínima del 60% para satisfacer la demanda de ACS.

No obstante, quedan exentos del cumplimiento de esta Ordenanza los casos en los que sea imposible la instalación de los colectores o cuando exista una aportación mínima del 40% mediante el uso de aportación auxiliar de energías renovables que, junto con la aportación solar, cubra el 100% de la demanda. En estos casos se tratará de aproximar al valor de contribución solar mínima que establece dicha Ordenanza.

Por tanto, para que esta instalación cumpla la normativa vigente, contaremos con un sistema de aporte basado en el uso de la biomasa como energía renovable. Como este sistema de aporte es necesario que aporte el 100% de la energía necesaria para satisfacer la demanda de ACS cuando las condiciones meteorológicas no posibiliten el uso de la energía solar, se cumplirá así una de las condiciones de exención de la Ordenanza Municipal, pudiendo considerar finalmente que la aportación solar mínima es del 30% tal y como se indica en el CTE.

5.4 CARGAS TÉRMICAS.

Para el diseño de la instalación de calefacción es preciso conocer cuáles van a ser las pérdidas térmicas de la edificación para mantener una temperatura interior definida.

Estas pérdidas dependen principalmente del lugar geográfico en el que esté situado la vivienda, de las características constructivas del edificio y de las condiciones interiores de diseño.

Las propiedades térmicas para el cálculo de estas cargas están definidas en la norma básica NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en edificaciones.

5.4.1 CONDICIONES DE DISEÑO

5.4.1.1 AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR

Para conseguir un estado de confort, es necesario obtener unas condiciones de temperatura y humedad adecuadas, así como una buena calidad de aire y unos niveles aceptables de ruido y de velocidad del aire.

Siguiendo lo establecido en el Código Técnico de la Edificación se debe cumplir los siguientes valores:

Estación	Temperatura [°C]	Velocidad media del aire [m/s]	Humedad relativa [%]
Verano	23 a 25	0.18 a 0.24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0.15 a 0.20	40 a 60

Tabla 12. Condiciones de ambiente térmico interior (CTE)

Para la realización de los cálculos y siguiendo lo establecido en el CTE, se considera una temperatura seca interior: $T_{int}=22\text{ °C}$, y una humedad relativa del 50%.

5.4.1.2 AMBIENTE TÉRMICO EXTERIOR

Las condiciones ambientales externas tienen una gran variación a lo largo del año para una misma localización. A efectos prácticos se asignan valores estándar de humedad y temperatura recogidos en las normas UNE 100001, UNE 100-002-88 y UNE 1000014IN.

Como el objetivo de este proyecto es el diseño de una instalación de calefacción y ACS, nos detendremos y dimensionaremos para los meses de invierno considerando los siguientes puntos.

- Temperatura seca: considerando la mínima de proyecto
- Radiación solar: debido a los meses de estudio, se considera inexistente a efectos prácticos de cálculo.
- Humedad relativa: no tiene gran efecto térmico a considerar.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Para la realización de los cálculos y siguiendo la norma UNE 100001:2001, se considera una temperatura seca exterior: $T_{ext}=3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el Código Técnico de la Edificación quedan recogidas las diferentes zonas climáticas que, para el estudio de las cargas térmicas, tiene una caracterización diferente a la estudiada en el apartado de la energía solar.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300			h < 800		h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h ≥ 350	
Salamanca	D2	770														h < 800		h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500				h < 950		h ≥ 950
Valladolid	D2	704														h < 800		h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617														h < 800		h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1

Tabla 13. Zonas climáticas de la Península Ibérica (CTE)

Observamos que, Santander, teniendo una altura inferior a 150 metros, pertenece a la zona climática C1.

5.4.1.3 CARGAS A CONSIDERAR

- Carga sensible y carga latente.

Es la carga que aparece al modificar la temperatura (sensible) y la humedad (latente) del espacio considerado.

- Carga de calefacción.
 - Transmisión en muros y cerramientos
 - Renovación
 - Infiltración

5.4.2 CARGA TÉRMICA DE TRANSMISION

El Código Técnico de la Edificación recoge todos los datos y los procesos de cálculo.

Las cargas térmicas de transmisión aparecen en muros, ventanas, puertas, suelos, techos y cerramientos que separan estancias a diferente temperatura. Así será necesario calcularlas en las zonas que separa interior-exterior, y en las zonas habitables-no habitables.

Responden a la fórmula general de transmisión de calor:

$$Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde U es el coeficiente global de transmisión de calor o transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{e}{k} + \frac{1}{h_i}}$$

Por tanto, en primer lugar, es necesario calcular las resistencias térmicas. Debido a que no hay zonas no habitadas en una misma planta, se calculan cinco coeficientes globales diferentes; el referente a los muros externos, al suelo, al techo, a las ventanas y a la puerta.

5.4.2.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN

El CTE establece los valores límite de transmitancia que una construcción nueva o una edificación reformada debe cumplir:

D.2.9 ZONA CLIMÁTICA C1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,37$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,6	3,0	3,9	3,9	-	-	-	0,56	-	0,60
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	-	-	-	0,47	-	0,52
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	-	-	-	0,42	-	0,46

Tabla 14. Transmitancias límite en diferentes elementos estructurales (CTE)

Además, el CTE indica que la resistencia térmica debido a la convección en cerramientos tanto verticales como horizontales en contacto con aire exterior se calcula de la siguiente manera:

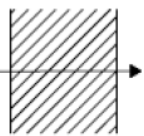
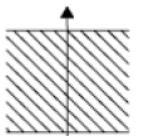
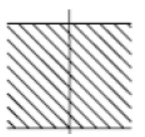
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Tabla 15. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ (CTE)

Mientras que los cerramientos verticales u horizontales de separación con otro local, desván o cámara de aire se obtienen de la siguiente manera:

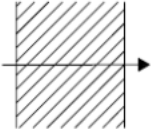
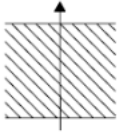
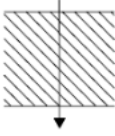
Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,17	0,17

Tabla 16. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos que separa el local aclimatado con otro local, desván o cámara de aire en $m^2 \cdot K/W$ (CTE)

Por otro lado, la diferencia de temperatura depende de la zona evaluada. Así, si se estudia un cerramiento, ventana o puerta, la diferencia de temperatura será:

$$\Delta T = T_{ext} - T_{int}$$

Mientras que, en el caso de evaluar el techo de la segunda planta y el suelo de la primera plana, al dividir una zona habitable y otra no habitable, diferencia de temperatura será:

$$\Delta T = T_{int} - T_{no\ habitable}$$

- **Cerramiento exterior.**

El cerramiento exterior forma básicamente los muros exteriores. Está compuesto por:

Ladrillo macizo visto, revoco de cemento, aislante (polietileno expandido tipo I), cámara de aire, ladrillo hueco y enlucido de yeso.

Fachada	K (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia térmica (m ² *K /W)
Ladrillo macizo visto	0.87	0.1	0.114942529
Revoco	1,4	0.015	0.010714286
Aislante	0.057	0.02	0.350877193
Cámara de aire	-	0.05	0.18
Ladrillo hueco	0.49	0.08	0.163265306
Yeso	0.3	0.015	0.05

Tabla 17. Composición del cerramiento exterior

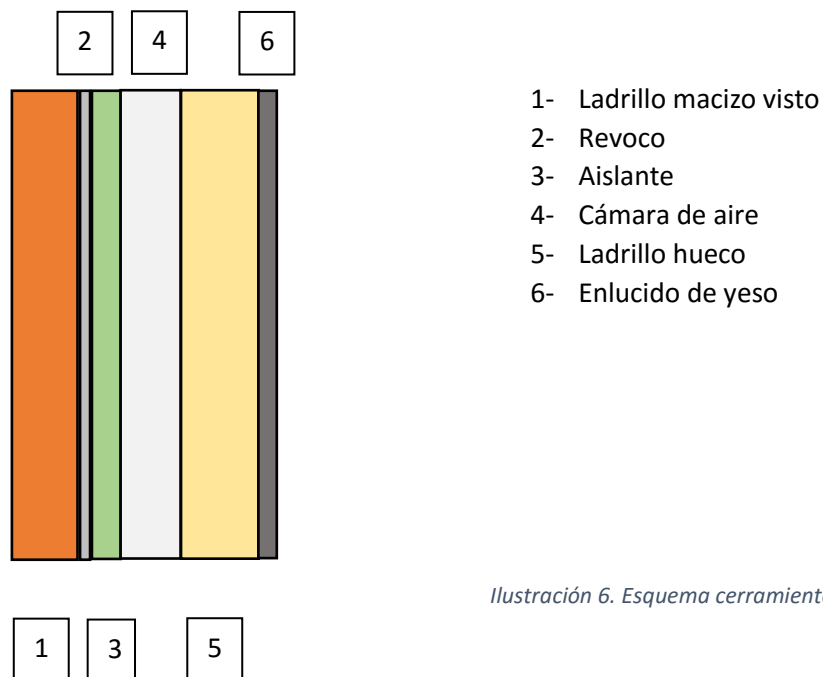


Ilustración 6. Esquema cerramiento exterior

Para calcular las resistencias térmicas externa e interna se sigue el CTE:

Fachada	Resistencia térmica (m ² *K/W)
Capa límite externa	0.13
Capa límite interna	0.04

Tabla 18. Resistencias térmicas convectivas en la fachada exterior

Por tanto, el coeficiente global de transmisión de calor del muro exterior es:

$$U_{fachada} = \frac{1}{\sum R_T} = 0.962 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

- **Cerramientos interiores.**

Como en esta vivienda no hay zonas interiores en la misma planta que no vayan a ser no habitables, se considera que toda la planta está a la misma temperatura, por lo que no es necesario calcular la transmisión de calor en los cerramientos interiores.

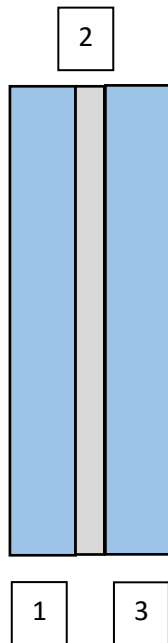
- **Ventanas.**

Las ventanas están compuestas por un doble acristalamiento con cámara de aire interna.

Ventanas	K (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia térmica (m ² *K /W)
Vidrio	0.95	0.005	0.005263
Cámara de aire	1.4	0.012	0.14
Vidrio	0.95	0.005	0.005263

Tabla 19. Composición de las ventanas

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO



1. Vidrio
2. Cámara de aire
3. Vidrio

Ilustración 7. Esquema ventanas

Al igual que en el caso del cerramiento exterior, para calcular las resistencias térmicas externa e interna se sigue el CTE:

Fachada	Resistencia térmica (m ² *K/W)
Capa límite externa	0.13
Capa límite interna	0.04

Tabla 20. Resistencias térmicas convectivas en las ventanas

Por tanto, el coeficiente global de transmisión de calor de las ventanas es:

$$U_{ventana} = \frac{1}{\sum R_T} = 3.119 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

- **Suelo.**

Se estudia la composición del suelo de la primera planta ya que es la que va a separar dos estancias a diferentes temperaturas: la planta baja, a la temperatura de espacios no habitables: 8 °C; y la primera planta, a 22 °C.

Está compuesto por:

Tarima de madera, capa de hormigón con áridos, capa de hormigón normal, bloque cerámico y enlucido de yeso.

Suelo planta 1	K (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia térmica (m ² *K /W)
Tarima de madera	0.14	0.02	0.1429
Hormigón con áridos	0.33	0.08	0.2424
Hormigón normal	1.63	0.02	0.0123
Bloque cerámico	-	0.2	0.15
Yeso	0.3	0.015	0.05

Tabla 21. Composición del suelo

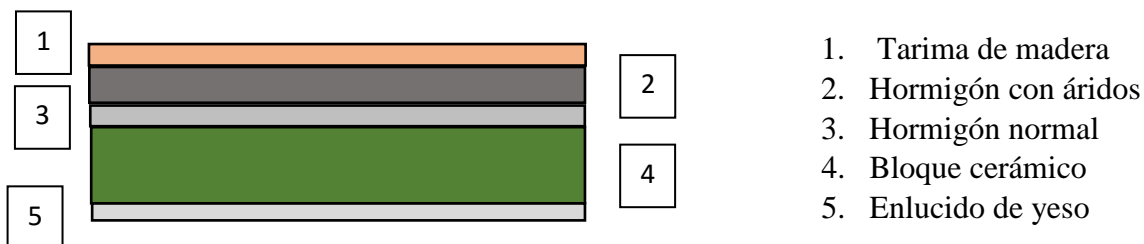


Ilustración 8. Esquema suelo primera planta

En este caso, como las dos estancias que separa el suelo son interiores, la resistencia térmica convectiva se obtiene de la siguiente manera:

Suelo P1	Resistencia térmica (m ² *K/W)
Capa límite superior	0.17
Capa límite inferior	0.17

Tabla 22. Resistencias térmicas convectivas en el suelo de la primera planta

Por tanto, el coeficiente global de transmisión de calor del suelo de la primera planta es:

$$U_{suelo} = \frac{1}{\sum R_T} = 1.0666 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

- **Techo.**

Se estudia la composición del techo de la segunda planta ya que va a separar dos estancias a diferentes temperaturas: la segunda planta, a 22°C, y el desván abuhardillado que está por encima de la segunda planta. Este espacio no habitable se encuentra a la misma temperatura que la planta baja, es decir, a la temperatura de espacios no habitables: 8 °C.

Está compuesto por:

Tarima de madera, capa de hormigón con áridos, capa de hormigón normal, bloque cerámico y enlucido de yeso.

Suelo techo 2	K (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia térmica (m²*K/W)
Hormigón con áridos	0.33	0.08	0.2424
Hormigón normal	1.63	0.02	0.0123
Bloque cerámico	-	0.2	0.15
Yeso	0.3	0.015	0.05

Tabla 23. Composición del techo

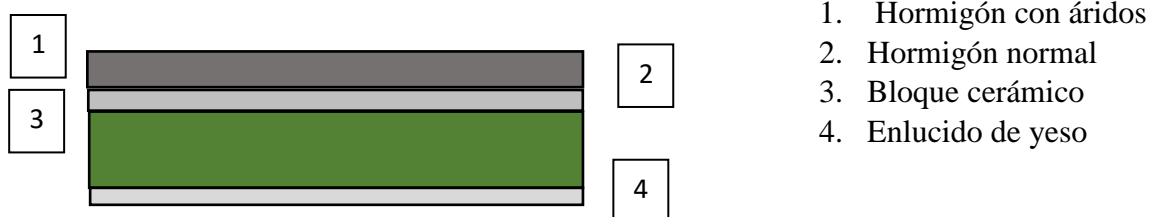


Ilustración 9. Esquema techo de la segunda planta

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Al igual que en el caso anterior, en este caso, como las dos estancias que separa el suelo son interiores, la resistencia térmica convectiva se obtiene de la siguiente manera:

Techo P2	Resistencia térmica (m ² *K/W)
Capa límite superior	0.17
Capa límite inferior	0.17

Tabla 24. Resistencias térmicas convectivas en el techo de la segunda planta

Por tanto, el coeficiente global de transmisión de calor del suelo de la primera planta es:

$$U_{techo} = \frac{1}{\sum R_T} = 1.5274 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

- **Puerta.**

El coeficiente global de la puerta de la vivienda, facilitado por la empresa fabricante de puertas es:

$$U_{puerta} = 4 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Resumen de transmitancias:

Tipo de cerramiento	Transmitancia U [W/m ² · K]
Muros exteriores	0.962
Ventanas	3.119
Suelo	1.066
Techo	1.527
Puerta	4

Tabla 25. Resumen de coeficientes globales de transmisión

Observando estos parámetros y comparándolos con el Documento Básico HE del Código Técnico, se puede asegurar que la vivienda no cumple con los requisitos mínimos vigentes.

Al tratarse de una vivienda de antigua construcción sin estar reformada, no es necesario que cumpla esta norma.

5.4.2.2 SUPERFICIES DE CONTACTO

Se ha procedido a la medición de la vivienda y posterior cálculo de áreas. En el ANEXO I se muestra el plano detallado de la vivienda.

Las ventanas instaladas en la vivienda son todas del mismo fabricante y tienen un carácter modular, por tanto, están montadas de tal forma que son múltiplos enteros de una medida estándar de 2.7 metros * 1.642 metros.

Así mismo, la altura efectiva de cada planta:

Planta baja: 2.5 metros

Primera planta: 2.8 metros

Segunda planta: 2.8 metros

A continuación, se muestran tabulados las diferentes secciones según su composición, orientación y estancia de la vivienda.

- Superficie de cerramientos exteriores [m²]:

Estancia	Superficie [m²]				
	Muros norte	Muros este	Muros oeste	Muros sur	
Cocina	9.442	7.662	-	-	
Habitación 1	-	-	-	8.027	
Habitación 2	-	-	13.44	5.052	
Habitación 3	8.524	-	9.1	-	
Salón	-	16	6.142	7.607	
Baño 1	6.166	-	-	-	
Pasillo	-	3.22	-	-	
Escaleras	-	-	-	-	
Habitación 4	16.102	-	11.55	-	
Habitación 5	-	-	10.588	13.297	
Sala 2	13	16.294	-	-	
Baño 2	-	12.307	12.375	15,813	
Descansillo	-	-	-	-	
TOTAL	53.234	55.483	63.195	49.796	221.708

Tabla 26. Superficie de cerramientos exteriores

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

- Superficie de ventanas [m²]:

Estancia	Superficie [m ²]				
	Ventanas norte	Ventanas este	Ventanas oeste	Ventanas sur	
Cocina	1.478	1.478	-	-	
Habitación 1	-	-	-	4.433	
Habitación 2	-	-	-	2.956	
Habitación 3	2.956	-	-	-	
Salón	-	4.433	6.458	4.433	
Baño 1	1.478	-	-	-	
Pasillo	-	-	-	-	
Escaleras	-	-	-	-	
Habitación 4	2.956	-	-	-	
Habitación 5	-	-	-	2.956	
Sala 2	-	2.956	-	-	
Baño 2	-	1.478	-	-	
Descansillo	-	-	-	-	
TOTAL	8.868	10.345	6.458	14.778	40.449

Tabla 27. Superficie de ventanas

- Superficie de suelo/techo [m²]:

Estancia	Superficie [m ²]
	SUELO
Cocina	13.771
Habitación 1	14.66
Habitación 2	13.728
Habitación 3	13.325
Salón	31.39
Baño 1	7.078
Pasillo	14.315
Escaleras	3.08
Habitación 4	26.428
Habitación 5	24.696
Sala 2	29.466
Baño 2	25.172
Descansillo	3.32
TOTAL	220.429

Tabla 28. Superficie suelo/techo

5.4.2.3 VALORES DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE TRANSMISIÓN

Siguiendo la fórmula antes propuesta, se calcula el valor de las cargas térmicas por estancias.

Para los muros externos es necesario aplicar un factor de orientación. Este factor de orientación es necesario para considerar la humedad y la falta de radiación solar directa en los muros que tienen orientación más desfavorable:

C ₀ NORTE	1.15
C ₀ ESTE	1.10
C ₀ SUR	1
C ₀ OESTE	1.05

Tabla 29. Factores de orientación

Por tanto, la carga térmica de transmisión queda:

$$Q_{trans} = \sum U \cdot A \cdot \Delta T \cdot C_{0i}$$

Desglosado por estancias:

Estancia	Pérdidas térmicas [W]
Cocina	754.35
Habitación 1	628.38
Habitación 2	730.38
Habitación 3	754.18
Salón	2001
Baño 1	336
Pasillo	454.039
Escaleras	110.332
Habitación 4	1338
Habitación 5	1159
Sala 2	1436
Baño 2	1520
Descansillo	71
TOTAL	11290

Tabla 30. Carga térmica de transmisión

$$Q_{trans} = 11290 \text{ W}$$

5.4.3 CARGA TÉRMICA DE RENOVACIÓN

El Código Técnico de la Edificación especifica que es necesario renovar el aire interior de la vivienda para garantizar unas condiciones de salubridad. Por tanto, al producirse esta renovación del aire se debe considerar la carga térmica consecuente.

Se determina el número de ventilaciones horarias para cada estancia, así, en zonas que es necesario gran ventilación (cocina, baños) se establecen 2 ventilaciones horarias. En la habitación 5, que tiene poco uso, se establece que tiene una ventilación a la hora. Por último, el resto de la vivienda tiene una media de 1.5 renovaciones horarias.

Por tanto, se determina el gasto másico de aire de renovación como:

$$\dot{m}_{renovacion} = F_{Volumétrico} \cdot \rho_{aire}$$

Dónde $F_{volumétrico}$ es el flujo volumétrico:

$$F_{Volumétrico} = \frac{N_{renovaciones} \cdot Volumen_{estancia}}{3600}$$

Por lo que la carga térmica de renovación queda definida como:

$$Q_{renovación} = \dot{m}_{renovacion} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{interior} - T_{exterior})$$

Estancia	Nº renovaciones horarias	Flujo volumétrico [m³/s]	Gasto másico aire de renovación [kg/s]	Carga térmica [W]
Cocina	2	0.021	0.024	453.07
Habitación 1	1.5	0.017	0.019	361.749
Habitación 2	1.5	0.016	0.018	338.751
Habitación 3	1.5	0.016	0.017	328.807
Salón	1.5	0.037	0.04	774.578
Baño 1	2	0.011	0.012	232.862
Pasillo	1.5	0.017	0.018	353.236
Escaleras	1.5	0.017	0.018	349.293
Habitación 4	1.5	0.031	0.034	652.126
Habitación 5	1	0.019	0.021	406.265
Sala 2	1.5	0.039	0.018	338.751
Baño 2	2	0.039	0.043	828.207
Descansillo	1.5	0.004	0.004	81.924
TOTAL				5500

Tabla 31. Carga térmica de renovación

Por lo que:

$$Q_{\text{renovación}} = 5500 \text{ W}$$

5.4.4 CARGA TÉRMICA DE INFILTRACIÓN

La carga térmica por infiltración refleja la pérdida térmica debida al aire que se infiltra por conductos, juntas, espacios, defectos de aislamiento, rendijas, poros en los materiales, defectos de construcción y demás aberturas del edificio que pueda hacer que el aire del interior salga y quede reemplazado por aire exterior.

Al ser un factor complejo de calcular e inexacto debido al desconocimiento real de las posibles fallas, se estima que el valor de este tipo de cargas es equivalente al 30% del valor de las cargas térmicas de renovación.

$$Q_{\text{infiltración}} = 0.3 \cdot Q_{\text{renovación}}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

De tal modo, se llega a los siguientes valores:

Estancia	Carga térmica [W]
Cocina	135.921
Habitación 1	108.525
Habitación 2	101.625
Habitación 3	98.642
Salón	232.373
Baño 1	69.859
Pasillo	105.971
Escaleras	104.788
Habitación 4	195.638
Habitación 5	121.879
Sala 2	101.625
Baño 2	248.462
Descansillo	24.577
TOTAL	1650

Tabla 32. Carga térmica de infiltración

Por tanto,

$$Q_{\text{infiltración}} = 1650 \text{ W}$$

Para dimensionar la instalación con aplicación de calefacción en las peores condiciones externas e internas posibles, no se tendrá en cuenta las cargas internas, en las que estarían incluidas la carga por iluminación, la carga por electrodomésticos y la carga debido al calor de las personas.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Finalmente, la carga de calefacción que es necesario aportar es:

$$Q_{calefacción} = Q_{trans} + Q_{renovación} + Q_{infiltración}$$

En cada estancia de la vivienda:

Estancia	Carga térmica [W]
Cocina	1343
Habitación 1	1099
Habitación 2	1171
Habitación 3	1182
Salón	3008
Baño 1	638.721
Pasillo	913.246
Escaleras	564.406
Habitación 4	2186
Habitación 5	1687
Sala 2	1876
Baño 2	2597
Descansillo	177.496
TOTAL	18440

Tabla 33. Calefacción total necesaria

Finalmente, la potencia que requiere el sistema de calefacción es:

$$Q_{calefacción} = 18.44 \text{ KW}$$

6 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

6.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La composición básica de cualquier sistema de captación solar térmica consiste en uno o varios colectores, un sistema de acumulación un intercambiador de calor y un sistema de bombeo.

El método de cálculo consiste en primer lugar en determinar el número de captadores solares necesarios, así como su orientación y ángulo de inclinación óptimos de diseño.

En este proyecto se estudia el diseño de una instalación de ACS y calefacción, por lo que es prioritario que en ningún momento falle el servicio frente a la demanda requerida. Es por esto que también se debe diseñar el sistema de aporte de energía auxiliar.

Así mismo, se debe diseñar la instalación de tal forma que el aprovechamiento de la energía solar sea el máximo posible. Por tanto, el sistema debe estar diseñado para llegar a una situación de compromiso entre ahorro energético y utilidad.

6.2 CAPTACIÓN

6.2.1 COLECTOR SOLAR

Mediante el sistema de captación, se transforma la energía solar en energía térmica. Se compone de colectores, circuito primario, intercambiador de calor, fluido de trabajo y los elementos de sujeción necesarios.

Los captadores planos son los utilizados en instalaciones de este tipo. Son baratos y por tanto son ideales para trabajar en un rango de temperaturas reducido. La función básica de los captadores solares es la de absorber la energía solar incidente en forma de radiación y transformarla en energía térmica sobre el fluido caloportador.

El funcionamiento básico de un colector solar está basado en el efecto invernadero y en el efecto de cuerpo negro, consiguiendo que la mayor parte de la radiación que llega al captador se aproveche debidamente, evitando así que la radiación se refleje sobre el captador.

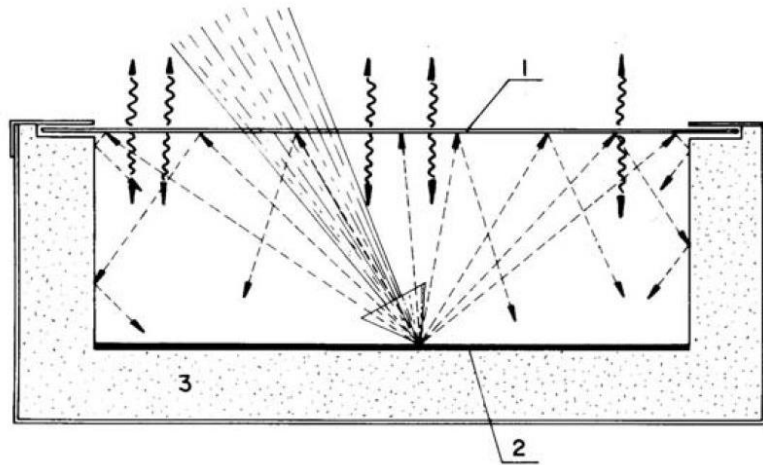


Ilustración 10. Efecto invernadero en el interior de un colector solar plano

En la Ilustración 9 se observan los elementos principales que conforman un captador: cubierta protectora (1), absorbedor (2), aislante y carcasa (3).

Los colectores están cerrados herméticamente por lo que se evita así pérdidas por escape del aire interno.

La cubierta transparente es el elemento encargado de hacer posible el “efecto invernadero”. Su cometido es permitir el paso de la radiación solar visible, así como evitar las pérdidas de calor por radiación y convección. Esta cubierta transparente está construida de vidrio con bajo contenido en Hierro.

La función del absorbedor es la de maximizar el potencial de absorción de la radiación solar, así como minimizar la emisividad de la temperatura de trabajo. Está fabricado de diferentes materiales conductores del calor (aluminio, cobre, acero...), y se encuentra recubierto de una pintura que favorezca el cumplimiento de su función.

En el interior del absorbedor se sitúan los tubos por los que circula el fluido caloportador. Los tubos pueden tener diversas configuraciones, pero las distribuciones más clásicas son la de tipo serpentín y la de tubo paralelo.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

En la Ilustración 10 se muestran los diferentes elementos que conforman un colector solar plano.

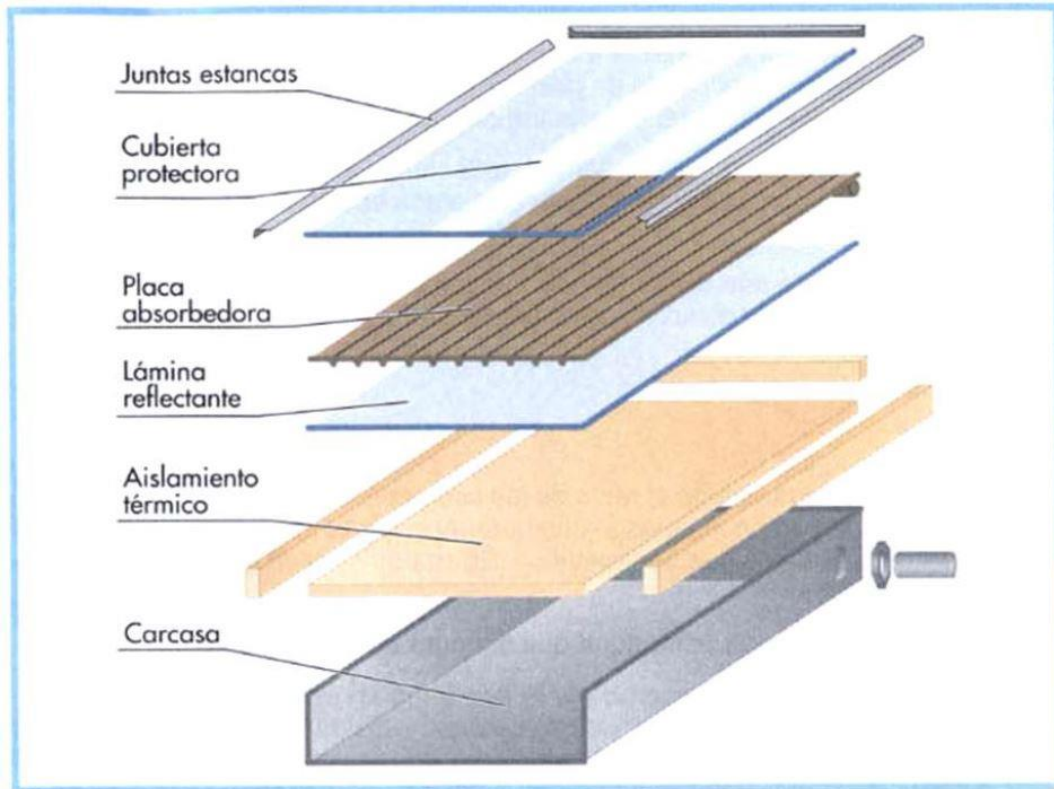


Ilustración 11. Elementos que forman un colector solar plano (Apuntes UC3M)

Los captadores planos de baja temperatura carecen de un sistema de seguimiento del sol ya que encarecería mucho su fabricación y no sería rentable frente al uso de energías convencionales. Además, es importante el mantenimiento de estos colectores pues la suciedad superficial de la placa protectora afecta notablemente al rendimiento térmico y óptico de los colectores.

El rendimiento de los captadores solares viene definido por la Curva de Normalización (UNE-EN-12975-2):

$$\eta_{CN} = a_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{G_T} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{G_T}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

La Curva de Normalización se obtiene de un ensayo de normalización en donde se consideran condiciones estacionarias, $T_{\text{media}} = 80^{\circ}\text{C}$, $G_T = 700 \text{ W/m}^2$, inclinación óptima y velocidad del viento entre 0 y 4 m/s.

Por tanto, uno de los factores de diseño más importante a la hora de estudiar y analizar un sistema de captación solar térmica es la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura del fluido caloportador.

Cuando esta diferencia de temperatura aumenta, lo hace también las pérdidas térmicas en el colector, por tanto, disminuye la capacidad absorbente del mismo. Por este motivo el fluido de trabajo debe llegar a los captadores a la menor temperatura posible.

El acople de los captadores puede ser tanto en serie como en paralelo. La principal ventaja de la configuración en serie frente a la configuración en paralelo es la mayor temperatura conseguida en el fluido de trabajo. Sin embargo, esta configuración también provoca un descenso en el rendimiento de la instalación, debido a que el fluido caloportador entra en el colector siguiente a una mayor temperatura.

La conexión en serie se suele considerar en aplicaciones que requieran de una temperatura elevada, más de 50°C , aunque en ningún caso se deben colocar más de tres captadores en serie.

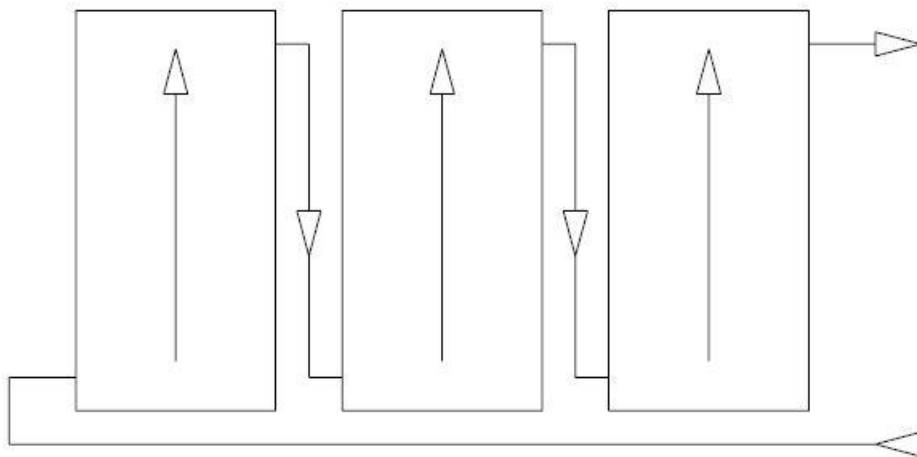


Ilustración 12. Composición en serie de los colectores

Por otro lado, la conexión más habitual es en paralelo. Para asegurar que el salto térmico sea el mismo en cada colector, es importante que el recorrido del fluido de trabajo sea el mismo. Este equilibrio se consigue conectando los colectores entre sí con un esquema de retorno invertido.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

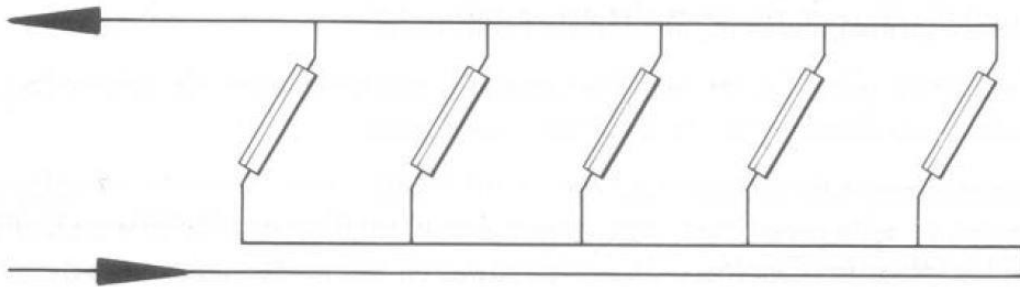


Ilustración 13. Esquema del retorno invertido

La instalación debe estar pensada para que exista la posibilidad de montar y desmontar las conexiones entre los colectores con el fin de poder llevar a cabo un sistema de mantenimiento. Así mismo, el circuito hidráulico debe ser lo más corto posible y debe estar debidamente aislado.

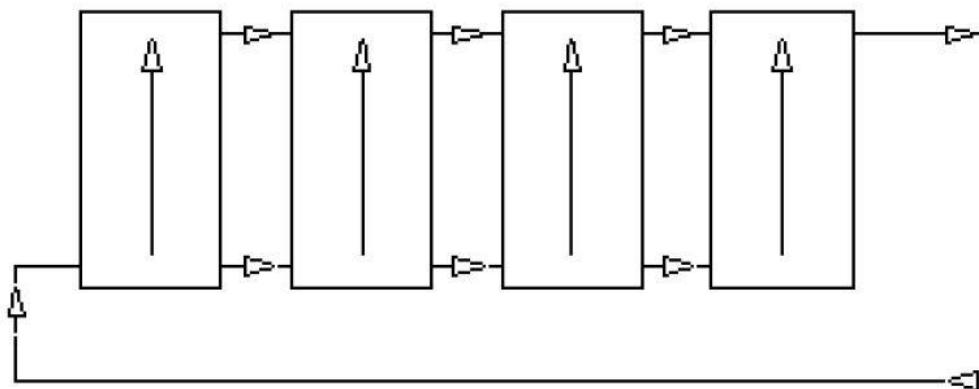


Ilustración 14. Composición en paralelo de los colectores

El carácter estacional de las instalaciones solares térmicas hace que, en los periodos nocturnos y de muy baja radiación solar, el fluido caloportador de trabajo corra riesgo de congelación.

Este riesgo de congelación es sumamente peligroso pues al dilatar el fluido de trabajo, se podrían dañar muchos componentes del sistema. Existen varios métodos para evitar que esto ocurra.

El primero de ellos consiste en vaciar por completo el circuito primario en los casos que la temperatura exterior ambiente sea tan baja que exista riesgo de congelación. Este proceso, además de costoso, es derrochador, pues supone el desperdicio de varios litros de fluido de trabajo para cada caso de riesgo.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El segundo se basa en el movimiento del fluido para evitar que se congele. Se pone en marcha bomba del circuito primario para que el fluido de trabajo esté en continuo movimiento evitando así que se congele. Al igual que la primera opción, es un método caro y que gasta energía eléctrica en mover la bomba.

El último método consiste en el uso de un fluido anticongelante diluido en el agua del circuito primario. Este anticongelante debe cumplir el requisito básico de tener un punto de congelación inferior al mínimo histórico del entorno de aplicación y realización del proyecto.

El fluido anticongelante se determina siguiendo lo establecido en el CTE. La temperatura mínima de la instalación se define como 5°C menos que el valor mínimo histórico registrado en Santander.

Esto es:

$$T_{min} = T_{historica} - 5^{\circ}\text{C} = -1.7^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = -6.7^{\circ}\text{C}$$

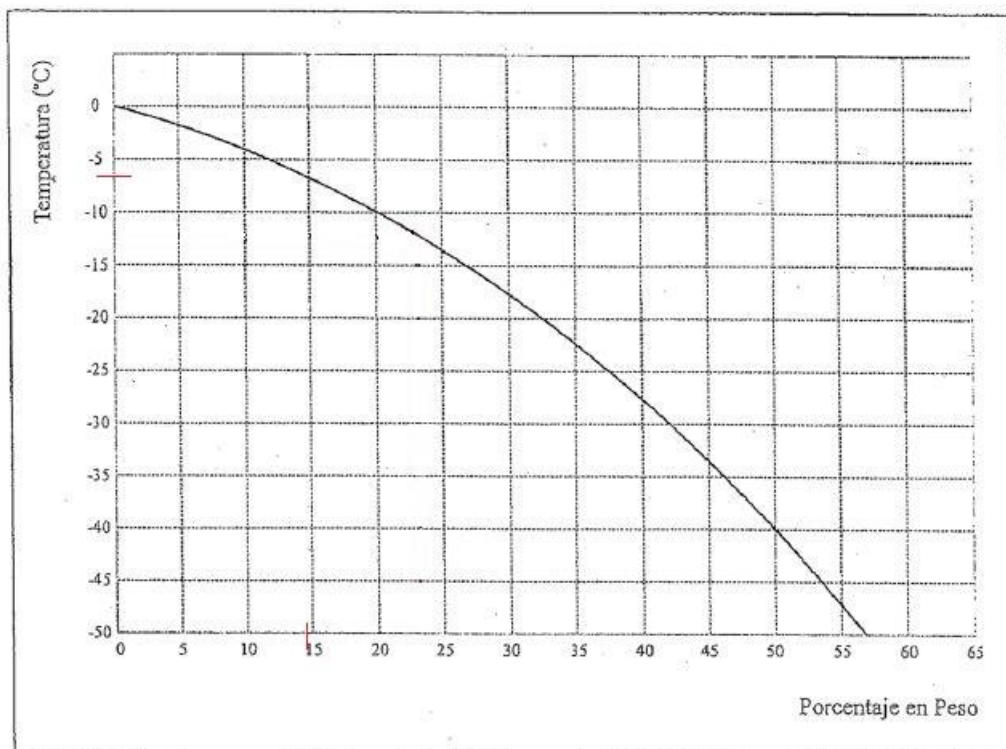


Ilustración 15. Variación de la temperatura de congelación con la proporción de propilenglicol en agua. (DTIE 8.03)

Utilizando la tabla que relaciona la temperatura de congelación con la proporción de propilenglicol en agua del DTIE 8.03, se determina que el fluido caloportador debe tener una proporción mínima de 15% de propilenglicol en agua.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

La determinación de las propiedades del fluido caloportador del sistema de captación solar debe hacerse según los parámetros normalizados establecidos en el catálogo “M. Conde Engineering”

Este catálogo establece las ecuaciones que relacionan la concentración de propilenglicol en agua con sus propiedades.

Para este cálculo hay que seguir la siguiente tabla:

Parameter Order	ρ [kg/m ³]	C_p [kJ/kg K]	λ [W/m K]	μ [Pa s]	Pr [-]	T_F [K]
0						1.0
1	508.411 09	4.476 42	1.188 86	-1.027 98	6.661 39	-0.037 36
2	-182.408 20	0.608 63	-1.491 10	-10.032 98	-6.994 40	-0.400 50
3	965.765 07	-0.714 97	-0.696 82	-19.934 97	-18.551 14	
4	280.291 04	-1.938 55	1.136 33	14.658 02	12.046 40	
5	-472.225 10	0.478 73	0.067 35	14.620 50	14.477 35	

Table II - Parameters of the mathematical models of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

Tabla 34. Constantes de cálculo de las propiedades del propilenglicol disuelto (M. Conde Engineering, Zurich 2002)

La concentración de propilenglicol utilizado se calcula mediante la expresión:

$$T_{\text{congelación}} = (A_{T0} + A_{T1} \cdot \xi + A_{T0} \cdot \xi^2)$$

Despejando la concentración se obtiene: $\xi = 0.2$

Las propiedades del fluido se determinan mediante la temperatura media de trabajo de la disolución. Como esta temperatura, a priori, no se conoce y variará a lo largo del uso de la instalación, se estima un valor medio de 35°C.

Esta consideración es correcta debido a que el resultado de los valores no varía significativamente en función de este parámetro.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El cálculo de las propiedades térmicas viene descrito en las siguientes ilustraciones:

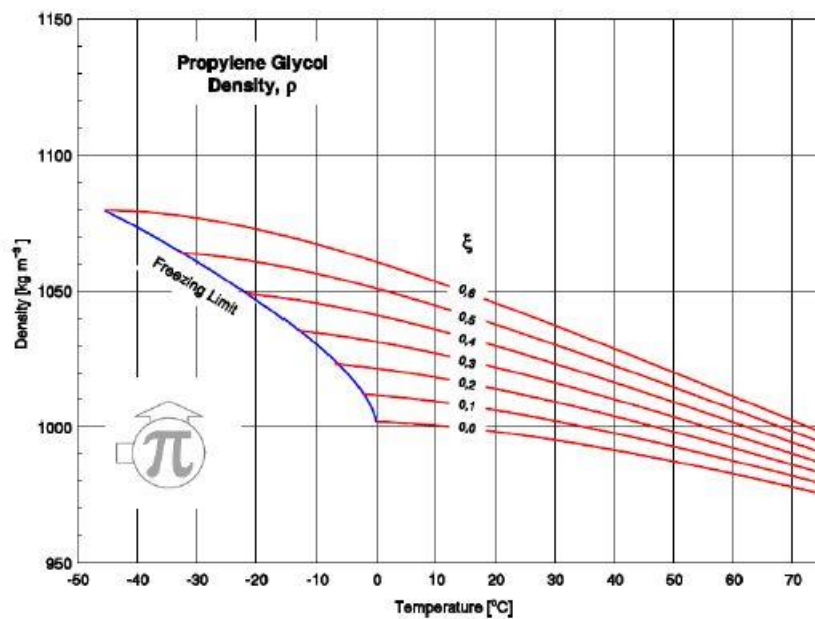


Ilustración 16. Densidad $[\text{kg/m}^3]$ del propilenglicol (M. Conde Engineering, Zurich 2002)

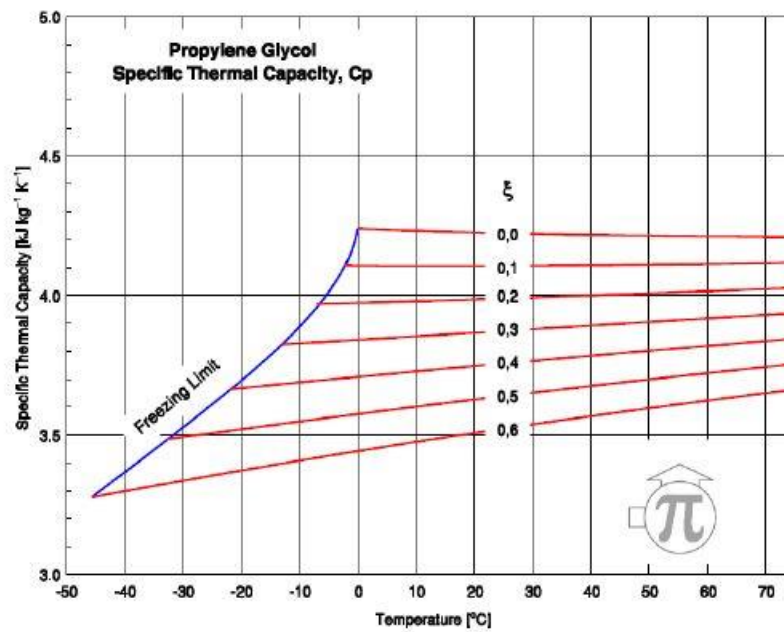


Ilustración 17. Poder calorífico $[\text{kJ/kg}\cdot\text{K}]$ del propilenglicol (M. Conde Engineering, Zurich 2002)

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

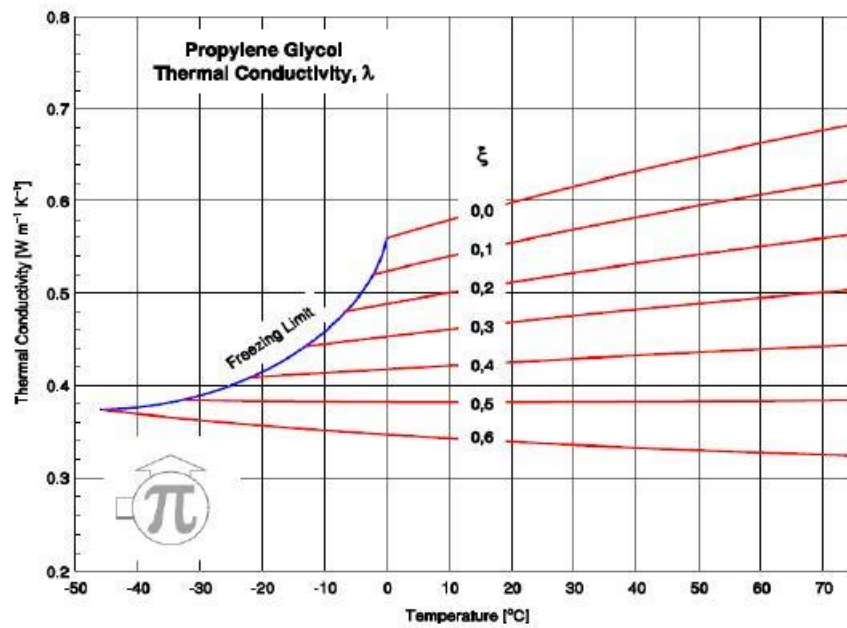


Ilustración 18. Conductividad térmica [$\text{W/m}\cdot\text{K}$] del propilenglicol (M. Conde Engineering, Zurich 2002)

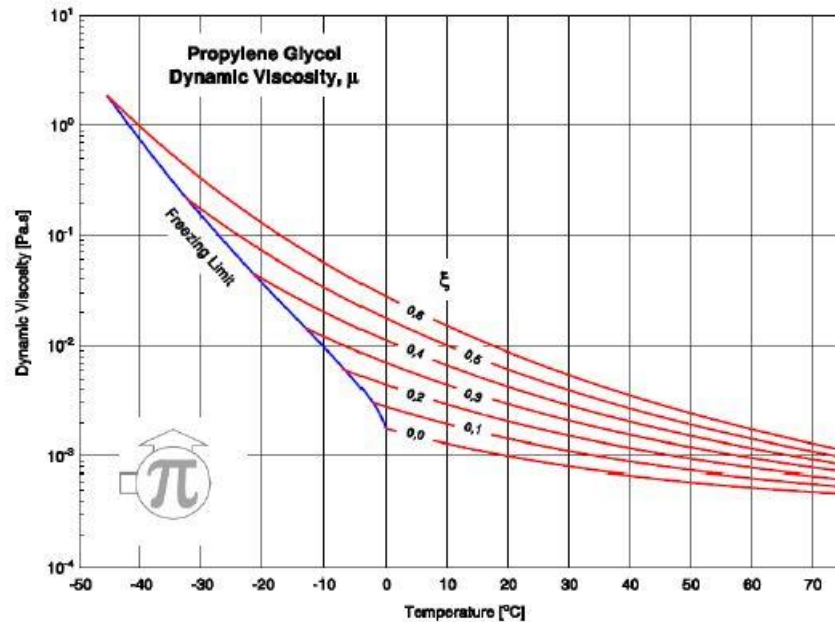


Ilustración 19. Viscosidad dinámica [$\text{Pa}\cdot\text{s}$] del propilenglicol (M. Conde Engineering, Zurich 2002)

Por lo que:

$$\rho_1 = 1015 \frac{kg}{m^3}; C_{p1} = 4000 \frac{J}{kg \cdot K}; k_1 = 0.51 \frac{W}{m \cdot K}; \mu_1 = 1.05 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$$

6.2.2 INTERCAMBIADOR

El elemento de unión térmica entre el circuito primario y el resto de la instalación es el intercambiador de calor. Es un intercambiador de fluidos separados que puede estar colocado dentro o fuera del acumulador. Como se verá más adelante, en la instalación estudiada se ha optado por emplear un interacumulador, o lo que es lo mismo, un acumulador con intercambiador de serpentín interior.

6.2.3 ALMACENAMIENTO

El gran problema de la energía solar es el desfase temporal entre la captación y la demanda de la energía. Existen dos tipos de desfase temporal en este tipo de instalaciones.

El primero es un desfase estacional. Esto significa que los meses en los que la radiación solar es mayor son los que menos demanda de energía térmica se requiere. Para solucionar este problema se recurre al correcto dimensionado de los elementos cumpliendo lo establecido en el Código Técnico de la Edificación. En una primera impresión, y queriendo aprovechar la energía solar al máximo, lo lógico sería dimensionar los elementos para que en los meses en los que apenas hay radiación solar la demanda esté completamente satisfecha.

Esto es algo que no tiene sentido pues existirían grandes problemas de sobredimensionamiento para los meses en los que la radiación solar sea mayor y encarecería notablemente el coste del proyecto.

Para llegar a una situación de compromiso, el CTE establece que el dimensionamiento de la instalación debe ser tal que no se exceda nunca del 110% de la demanda mensual y que, además, no se exceda nunca 3 meses consecutivos el 100% de la demanda.

El segundo desfase temporal consiste en la variación horaria entre el consumo y la producción de energía. Ocurre cuando la demanda de energía térmica se da en las horas en las que no hay sol o la radiación solar es insuficiente. Para mitigar este problema se recurre al almacenamiento de Agua Caliente Sanitaria.

Estos depósitos están específicamente diseñados para esta función y son capaces de almacenar agua caliente hasta dos días. El depósito solar elegido para este proyecto contiene en su interior el intercambiador de calor en forma de serpentín.

La geometría de los depósitos acumuladores de este tipo está pensada para favorecer la estratificación. Así, suelen ser cilíndricos (por motivos meramente constructivos) y colocados en vertical. Cuanta mayor sea la relación entre longitud y diámetro del acumulador, mayor será el grado de estratificación conseguido.

La estratificación es el fenómeno por el cual las moléculas de agua que están a una temperatura mayor tienen una densidad menor, y viceversa. Esto se traduce en la capacidad de almacenar a distintas temperaturas un mismo fluido. Así, interesa un alto grado de estratificación ya que en la parte alta del acumulador estará el agua a una temperatura mayor, mientras que en la parte más baja, y la que está conectada a la entrada de los colectores, estará el agua a una temperatura menor.

Debido a la función de estos tanques acumuladores de agua caliente, existe un alto factor de corrosión del tanque. Por esto, es necesario colocar un sistema de protección catódica.

6.2.4 TUBERÍAS

Las tuberías de toda la instalación son de cobre. Es barato, fácil de manejar, presenta baja pérdida de carga y se caracteriza por tener una gran resistencia a la corrosión.

El diámetro de las tuberías se calcula en base a tablas de materiales en las que, conociendo el caudal que circula por dicha tubería y estableciendo una pérdida de carga unitaria inferior (en la medida de lo posible) de 20 mm.c.a. por metro lineal.

6.2.5 AISLANTE DE TUBERÍAS

El aislante empleado para cubrir las tuberías de la instalación para dificultar las pérdidas térmicas por la misma corresponde al modelo *ST* de la marca *KFLEX*, que tiene un coeficiente de conductividad de 0.036 W/m·K. El tamaño y el espesor dependerá de la tubería que recubre.

6.2.6 OTROS ELEMENTOS

El resto de elementos, aunque importantes y necesarios para el funcionamiento global del sistema de energía solar, no influyen en el proceso termodinámico:

- Vaso de expansión: Necesario para absorber el aumento de presión y volumen del fluido caloportador al aumentar su temperatura.

- Bomba de circulación: Montadas en la entrada a los colectores solares y en tramos verticales de tubería. Se encarga de la circulación del fluido de trabajo dentro del circuito primario.
- Válvulas de apertura y cierre: Suelen ser válvulas de esfera y su función es la de permitir o cortar el paso del fluido de trabajo. Son necesarias para reemplazar elementos defectuosos y para realizar tareas de mantenimiento.
- Purgadores de aire: Su función es la de expulsar el aire y el vapor del circuito hidráulico. Están colocados en las partes más altas de la instalación. Pueden ser automáticos o manuales.
- Válvula antirretorno: Impiden el paso del fluido en el sentido contrario al diseñado.
- Filtros: Todas las válvulas y las bombas deben tener un filtro que separe las posibles partículas que están en el fluido que puedan dañar el mecanismo de los elementos.

6.3 AGUA CALIENTE SANITARIA

El sistema de ACS se encarga de calentar el agua desde la entrada de agua fría sanitaria (AFS) de la red pública, hasta la distribución final en el interior de la vivienda.

Este sistema de ACS está compuesto por la red de tuberías, caldera de aporte y acumulador de ACS. Debido a la gran distancia desde la caldera hasta el último grifo se ha optado por instalar un sistema de recirculación del agua caliente de tal forma que siempre haya agua caliente en la tubería. Esto se hace para evitar el derroche de agua.

El agua en el acumulador estará a 60°C para evitar así la aparición de la bacteria de la Legionella. Debido a que esta temperatura de agua implica un posible riesgo para la salud debido a quemaduras en el usuario, se mezcla, en una válvula mezcladora, con Agua Fría Sanitaria de la red hasta bajar la temperatura a los 45°C. Esta válvula mezcladora está situada a la salida del acumulador de ACS

Cuando la energía solar sea suficiente para calentar el agua, la caldera de aporte funcionará de manera secundaria. En el Anexo I se representa detalladamente la instalación de ACS.

6.4 CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción funcionará solamente los meses de frío, estos son la segunda mitad de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Debido a la gran estacionalidad de demanda y su coincidencia con los meses en los que la radiación solar es mucho menor, se ha optado por dejar fuera del sistema de producción de energía solar esta aplicación.

El sistema de calefacción consta de una instalación básica con caldera de aporte (la misma que para ACS), red de tuberías y radiadores de aluminio emisores de calor. La temperatura de trabajo del agua que circula por el circuito de calefacción está en torno a los 70°C.

Aunque es cierto que el sistema de calefacción por suelo radiante es mucho más eficaz y conlleva un ahorro de combustible, se ha decidido no instalarlo debido a su alto coste inicial de obra al existir ya una red de tubería de calefacción en la vivienda.

6.5 CALDERA DE APORTE

La caldera de aporte auxiliar es imprescindible para el buen funcionamiento de la instalación solar. Se requiere para cubrir la demanda de energía térmica en los periodos en los que la radiación solar es insuficiente o en los casos en los que el consumo de ACS es superior al estimado. La caldera de aporte suele funcionar con energías convencionales que permitan su uso independientemente de las condiciones meteorológicas externas.

En este proyecto se estudia la instalación de una caldera de pellets con el fin de fomentar el uso de energías renovables, así como por el ahorro económico que conlleva. Esta caldera es puramente de calefacción (no es mixta) por lo que para calentar el ACS se conecta mediante un sistema cerrado a un intercambiador que transfiere el calor al acumulador de ACS. Este sistema se denomina como ACS con acumulación externa y se basa en la idea contraria al ACS instantáneo que puede provocar deficiencias de rendimiento en la caldera de aporte, así como un gran aumento de la fatiga térmica de los elementos del sistema.

Al ser un sistema de acumulación, la caldera debe tener potencia suficiente para cubrir la demanda de ACS y de calefacción de forma simultánea.

El uso del sistema de apoyo está regulado por un sistema de control que reduzca el uso de esta caldera lo máximo posible con el fin de aprovechar debidamente la radiación solar que captan los colectores.

6.6 CONTROL

El sistema de control es imprescindible para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación además de la seguridad de los elementos que lo componen.

El sistema que controla la bomba del captador es de temperatura, captando la diferencia que existe entre la salida del último captador y la parte inferior del acumulador solar. Así, si la diferencia de temperatura registrada entre estos dos puntos es mayor que 5°C, la bomba comienza a funcionar, significa que la radiación solar es suficiente como para que empiece a calentar el fluido primario. Por otro lado, si la diferencia de temperatura registrada es menor de 2°C, la bomba se detiene.

Las sondas de temperatura están conectadas a un controlador, que a su vez está conectado a la bomba.

7. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

Una vez introducidos los elementos que conforman la instalación, se procede a su cálculo y diseño.

En primer lugar, se realiza el estudio del sistema de captación solar: número de captadores necesarios, fracción solar mensual de aporte, potencia calorífica aportada.

Después se calcula las pérdidas en los colectores y en la red de tubería del circuito solar. Con todos estos cálculos se procede al dimensionamiento de la bomba de circulación, dimensionado del acumulador, estudio del vaso de expansión necesario y al dimensionado de la tubería.

Posteriormente, se procede al cálculo y dimensionado de la red de ACS, donde está presente el sistema de recirculación, el sistema de acumulación de ACS y donde se calcula la potencia térmica necesaria para cumplir con la demanda exigida. Igualmente, se dimensionan las bombas necesarias, el vaso de expansión y la red de tuberías.

Siguiendo a esto, se calcula la red de calefacción, calculando el número de elementos radiadores necesarios en cada estancia, pérdidas de carga, dimensionado de bombas, vaso de expansión, etc.

Finalmente se dimensiona la caldera de aporte necesaria como la suma de la potencia necesaria para ACS y para calefacción, con sus respectivas pérdidas térmicas.

Para el cálculo y análisis de todo el proyecto se ha utilizado el software Mathcad junto con Microsoft Excell.

7.1 INSTALACIÓN SOLAR

El método empleado para el cálculo del área de captación es interactivo. Se parte de un valor inicial estimado y se observan los resultados.

El tipo de colector empleado en este proyecto es el modelo *FKT-2 W* de la marca *JUNKERS* cuyas características de funcionamiento son las siguientes:

- Área útil de captación: 2.23 m^2
- Rendimiento óptico (a_0): 0.802
- Coeficiente de pérdidas lineal (a_1): 3.833
- Coeficiente de pérdidas secundarias (a_2): 0.015
- Caudal recomendado por el fabricante (m_1): 50 l/h

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El esquema básico de la instalación solar es el siguiente:

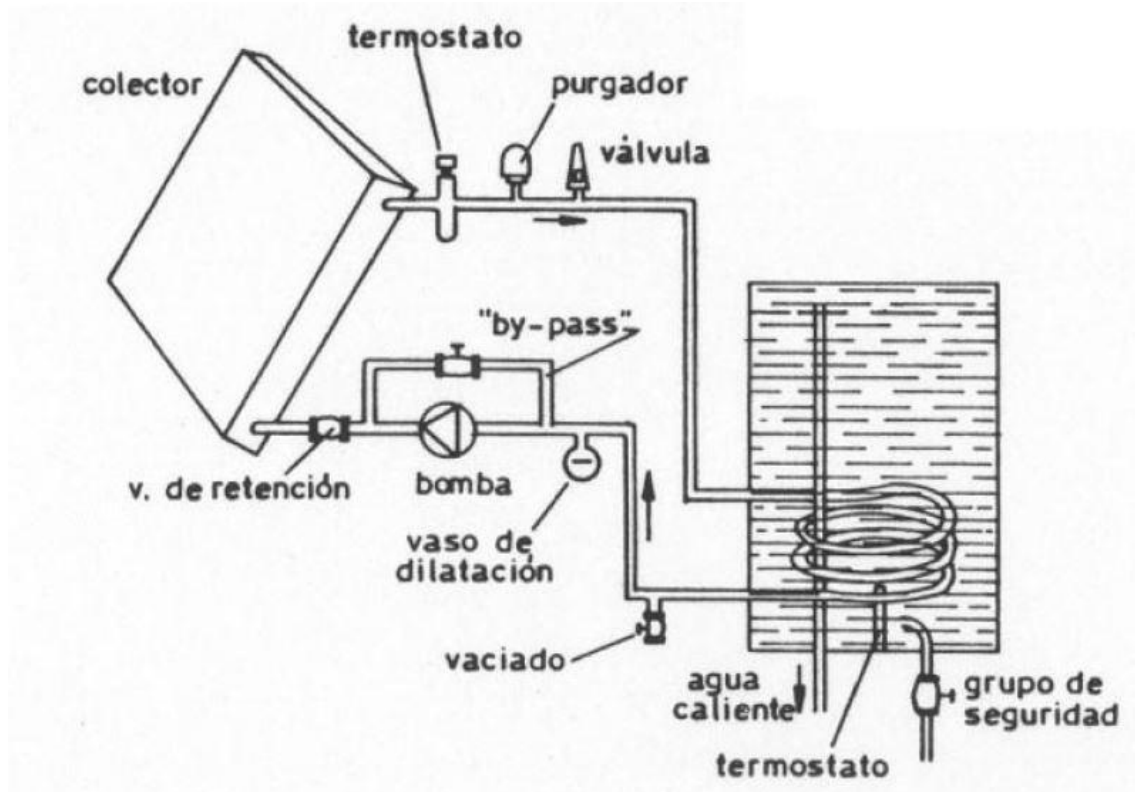


Ilustración 20. Esquema básico de la instalación solar

Donde los datos iniciales mostrados anteriormente son:

- Radiación sobre el plano inclinado
- Caudal del colector
- Temperatura de red
- Gasto másico de consumo
- Propiedades de los fluidos
- Temperatura de suministro
- Reflectividad del suelo

Mientras que las incógnitas a resolver son:

- Temperatura de entrada de los colectores (T_{ci})
- Temperatura de salida de los colectores (T_{co})
- Temperatura de entrada al intercambiador (T_{ici})
- Temperatura de salida del intercambiador (T_{ico})
- Área de captación total
- Temperatura de consumo (T_{cons})
- Temperatura media del tanque (T_t)

7.1.1 RADIACIÓN

A continuación, se describe el proceso de cálculo del colector solar obtenido de los apuntes de la asignatura “Energías Renovables” del cuarto curso de Ingeniería Mecánica, impartida por los profesores Pedro A. Rodríguez Aumente y Ciro S. Vereda Ortiz.

En primer lugar, se calcula en ángulo horario de salida y puesta de sol tanto para el plano horizontal como para el plano inclinado (41.6°). Obtenemos el ángulo de declinación mes a mes:

$$\delta_i := \left[23.45 \deg \cdot \sin \left[\frac{360 \deg}{365} \cdot (284 + n) \right] \right]$$

Siendo n el día intermedio de cada mes.

La orientación es de 0°, por tanto, el ángulo horario de salida y puesta del sol es:

$$\omega_{sz_i} := \arccos \left(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta_i) \right)$$

$$\omega_{sT_i} := \arccos \left(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan(\delta_i) \right)$$

Calculando para el plano inclinado respectivamente:

$$\omega_{srT_i} := \min \left[\omega_{sz_i}, \text{if } \gamma = 0, \omega_{sT_i}, \text{if } \gamma > 0, \arccos \left[\frac{-x y_i - \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right], \arccos \left[\frac{-x y_i + \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right]$$

$$\omega_{ssT_i} := \min \left[\omega_{sz_i}, \text{if } \gamma = 0, \omega_{sT_i}, \text{if } \gamma > 0, \arccos \left[\frac{-x y_i + \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right], \arccos \left[\frac{-x y_i - \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right]$$

Siendo x e y función de la orientación, la inclinación y la latitud:

$$x := \text{if} \left[\gamma = 0, 0, \frac{\cos(\phi)}{\sin(\gamma) \cdot \tan(\beta)} + \frac{\sin(\phi)}{\tan(\gamma)} \right] = -6.192$$

$$y_i := \text{if} \left[\gamma = 0, 0, \tan(\delta_i) \cdot \left(\frac{\sin(\phi)}{\sin(\gamma) \cdot \tan(\beta)} - \frac{\cos(\phi)}{\tan(\gamma)} \right) \right]$$

Se calcula las horas de sol para el día medio de cada mes sobre los planos horizontal (h_{szi}) e inclinado (h_{sTi}):

$$h_{sz_i} := 2 \omega_{sz_i} \frac{24 \text{ hr}}{360 \deg}$$

$$h_{sT_i} := (\omega_{srT_i} + \omega_{ssT_i}) \frac{24 \text{ hr}}{360 \deg}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Se determina la irradiación total HW y a la difusa HdW diaria media de cada mes exclusivamente las horas de sol:

$$HW := \left(\frac{H}{h_{sz}} \right) \quad HdW := \left(\frac{Hd}{h_{sz}} \right)$$

Donde H y Hd son datos de irradiación total y difusa respectivamente, recogidos de la Comisión Europea JRC.

La radiación global se descompone en varios tipos de radiación: directa, difusa isotrópica, difusa circunsolar, difusa del horizonte y reflejada. Para determinar cuánta radiación de la total es difusa, reflejada y cuál es la dirección de la que proviene en un plano inclinado se recurren a las correlaciones y modelos de cielo.

Para ello es necesario determinar la irradiación global extraterrestre y la potencia total incidente sobre un plano inclinado que, como ya vimos previamente:

$$G_{0n_i} := 1367 \cdot \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n_i}{365} \cdot \text{deg} \right) \right) \cdot \frac{W}{m^2}$$

$$H_{0\beta_i} := 2 \cdot \frac{12 \cdot 3600 \cdot s \cdot G_{0n_i}}{\pi} \cdot \left(\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(\omega_{ssT_i}) + \omega_{ssT_i} \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i) \right)$$

Se define el índice de transparencia atmosférica como:

$$k_{T_i} := \frac{H_i}{H_{0i}}$$

Este índice de transparencia se debe comparar con los modelos de cielo de transparencia de Vázquez y Santos corregida por declinación por María del Carmen Rodríguez Hidalgo:

$$k_{dVSc_i} := \begin{cases} k_{T_i} & \text{if } k_{T_i} \leq 0.15 \\ \left[(0.56 + 0.02 \delta_i)^{0.35} \cdot \left[-0.0434526 + 1.55331 k_{T_i} - 1.82879 (k_{T_i})^2 \right] \right] & \text{if } 0.15 \leq k_{T_i} < 0.7 \\ 0.06 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Se calcula la radiación total sobre el plano inclinado, sobre el plano horizontal (Rb) y los factores de forma entre colector y cielo (F_{c_s}) y entre el colector y la superficie horizontal (F_{c_g}):

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

$$H_{0T_i} := \text{if}(\gamma = 0, H_{0\beta_i}, H_{0\beta\gamma_i}) \quad R_{b_i} := \frac{H_{0T_i}}{H_{0_i}}$$

$$F_{c_s} := \frac{1 + \cos(\beta)}{2} = 0.75$$

$$F_{c_g} := \frac{1 - \cos(\beta)}{2} = 0.25$$

Existen dos modelos de cielo a considerar: modelo isotrópico y modelo anisotrópico.

El modelo isotrópico es un modelo simplificado en el que se considera que toda la radiación difusa es isotrópica:

$$H_{T_directa_i} := H_{b_i} \cdot R_{b_i} \quad H_{T_difusa_iso_i} := H_{d_i} \cdot F_{c_s} \quad H_{T_reflejada_i} := H_i \cdot \rho_g \cdot F_{c_g}$$

$$H_{T_iso_i} := H_{T_directa_i} + H_{T_difusa_iso_i} + H_{T_reflejada_i}$$

Y que lanza una expresión resultante para plano inclinado:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

Por otra parte, el modelo de cielo anisotrópico separa la radiación difusa en isotrópica, circumsolar y horizontal:

$$A_{i_i} := \frac{H_{b_i}}{H_{0_i}} \quad f_i := \sqrt{\frac{H_{b_i}}{H_i}} \quad +$$

$$H_{T_directa_i} := H_{b_i} \cdot R_{b_i} \quad H_{T_difusa_circun_i} := H_{d_i} \cdot A_{i_i} \cdot R_{b_i} \quad H_{T_difusa_cielo_i} := H_{d_i} \cdot (1 - A_{i_i}) \cdot F_{c_s}$$

$$H_{T_difusa_horizonte_i} := H_{d_i} \cdot (1 - A_{i_i}) \cdot f_i \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \quad H_{T_reflejada_i} := H_i \cdot \rho_g \cdot F_{c_g}$$

$$H_{T_aniso_i} := H_{T_directa_i} + H_{T_difusa_circun_i} + H_{T_difusa_cielo_i} + H_{T_difusa_horizonte_i} + H_{T_reflejada_i}$$

Debido a que es un método más completo, se ha optado por elegir el modelo de cielo anisotrópico. Por lo que:

$$HW_{T_i} := \frac{H_{T_iso_i}}{h_{sT_i}}$$

7.1.2 BALANCES DE ENERGÍA

Una vez conocidos todos los datos de radiación se procede al cálculo térmico. Al tener siete ecuaciones y siete incógnitas, se debe plantear un sistema que considere todos los parámetros antes mencionados. Este sistema de ecuaciones parte de balances de energía en los diversos elementos del circuito solar.

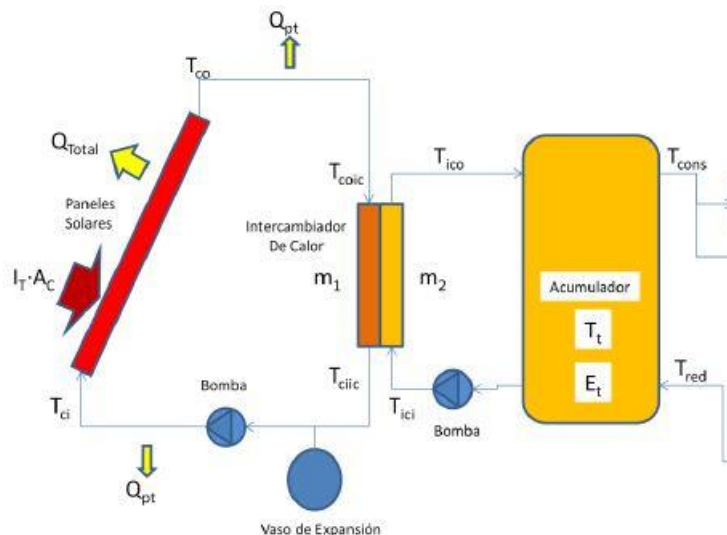


Ilustración 21. Esquema de balances de energía básico de la instalación solar

Balance energético en colectores solares:

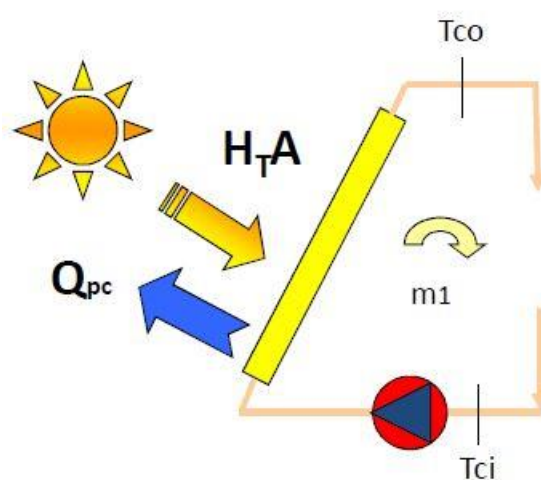


Ilustración 22. Detalle circuito primario

$$T_m = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (1)$$

Como se estudia el caso estacionario, la variación de la energía temporal es nula, por tanto, el balance de energía queda:

$$\frac{dE}{dt} = H_T \cdot A_a - \dot{Q}_p - \dot{m}_1 \cdot c \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

Donde H_T es la radiación recibida sobre el plano inclinado y \dot{m}_1 es el gasto másico del fluido primario, que, en este caso, es una disolución de agua-propilenglicol al 35%.

Y Q_p son las pérdidas térmicas en los captadores debido a su rendimiento óptico:

$$Q_p = H_T \cdot A_a \cdot (1 - \eta_c)$$

Como ya se ha visto previamente, el rendimiento de los captadores, utilizando la curva de normalización es:

$$\eta_c = a_0 - a_1 \cdot \left(\frac{T_m - T_0}{H_T} \right)$$

Por lo que:

$$Q_p = H_T \cdot A_a \cdot \left[1 - a_0 - a_1 \cdot \left(\frac{T_m - T_0}{H_T} \right) \right]$$

Finalmente, el balance de energía en los captadores queda:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} + T_{ci}) = H_T \cdot A_a \cdot \left[a_0 - a_1 \cdot \left(\frac{T_m - T_0}{H_T} \right) \right] \quad (2)$$

▪ **Balance energético en el intercambiador**

Aunque en nuestro caso el intercambiador es de tipo serpentín y está situado dentro del acumulador, realizaremos los cálculos como si estuviera fuera del mismo.

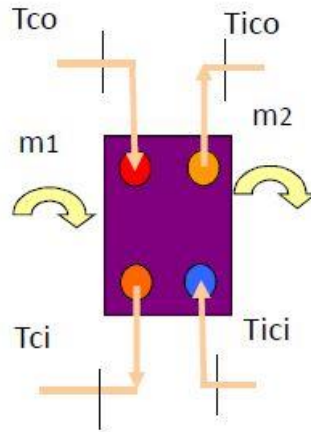


Ilustración 23. Detalle intercambiador de calor

El balance de energía resulta:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad (3)$$

Se define la efectividad del intercambiador como:

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \quad (4)$$

Donde C_{min} es el valor mínimo entre $[\dot{m}_1 \cdot c_1, \dot{m}_2 \cdot c_2]$

▪ **Balance energético en el acumulador solar**

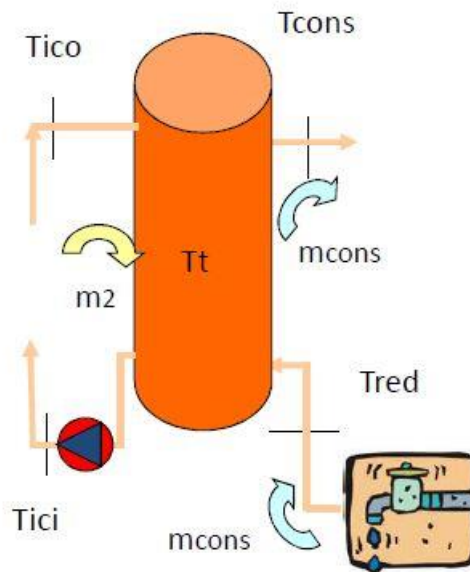


Ilustración 24. Balance de energía en el acumulador solar

Haciendo al balance de energía en el acumulador:

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) + Q_{pérdidas\ acum} \quad (5)$$

En nuestro caso, la temperatura T_{cons} es la temperatura con la que el agua del acumulador solar entra al acumulador de ACS. Ésta puede ser directamente la temperatura de consumo o, si es inferior a 60°C será simplemente la temperatura a la que entra el agua en el acumulador de ACS, donde ahí, se calentará mediante el sistema de aporte auxiliar hasta la temperatura de consumo.

Por otra parte, el gasto másico del circuito secundario \dot{m}_2 es interno al acumulador debido a que el intercambiador está situado dentro del acumulador. Así, T_{ico} y T_{ici} son temperaturas medias del agua en los extremos del interior del acumulador.

Las pérdidas térmicas en el acumulador vienen definidas por el aislamiento del mismo, así como por la diferencia de temperatura entre el agua almacenado y el cuarto de calderas en el que está situado el acumulador.

Como se puede ver en el ANEXO I, el fabricante aporta los datos de pérdidas térmicas en función del modelo de acumulador elegido.

- **Contribución solar mínima anual**

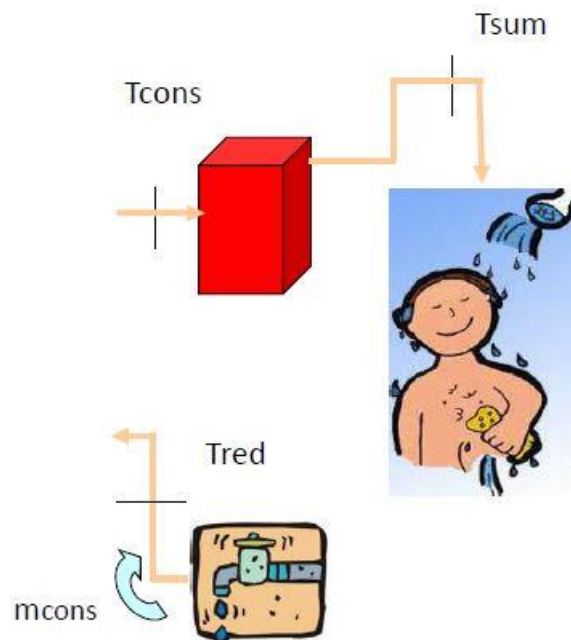


Ilustración 25. Esquema simplificado de la distribución

El Código Técnico de la Edificación indica que la temperatura de suministro debe ser de 60°C. Además, se define la contribución solar mínima como la fracción del calor consumido que se aporta mediante energía solar. Representa la temperatura que se puede llegar a alcanzar gracias al uso único del sistema de radiación solar.

$$f = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \quad (6)$$

- **Grado de estratificación del acumulador solar**

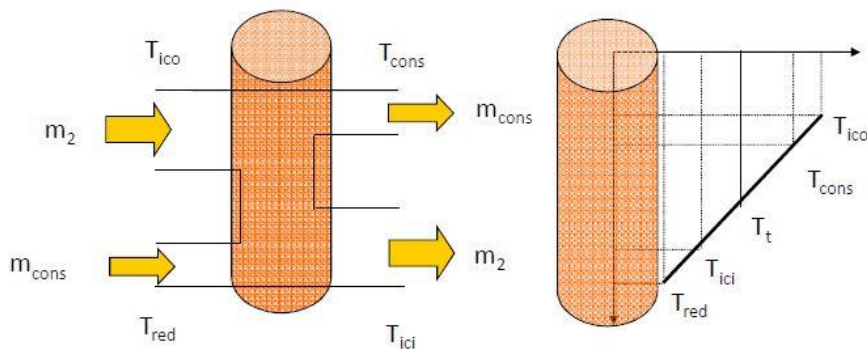


Ilustración 26. Esquema simplificado de la distribución y grado de estratificación

Como ya se explicó anteriormente, el grado de estratificación es importante para aumentar el rendimiento de los captadores, haciendo que la entrada de agua esté a la menor temperatura posible.

Así, se define grado de estratificación al coeficiente adimensional que indica el perfil de variación de temperatura dentro de un depósito o acumulador.

En primer lugar, se debe calcular la temperatura de mezcla, es decir, la temperatura interior del acumulador suponiendo que se encuentra completamente mezclado.

Haciendo el balance de energía entre el circuito secundario (interno en el acumulador) y la salida del acumulador:

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot T_{red} = (\dot{m}_2 \cdot c_2 + \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons}) \cdot T_t$$

Como el fluido del circuito secundario y el fluido de consumo es el mismo (agua), el poder calorífico de ambos fluidos es el mismo. Por tanto, se despeja la temperatura de mezcla T_t :

$$T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (7)$$

Por otro lado, el grado de estratificación (E_t) tiene carácter lineal y está comprendido entre 0 y 1.

Además, sabemos que T_{cons} debe tener un valor intermedio entre T_{ico} y T_t , por lo que se define que:

$$\begin{cases} E_t = 0 \rightarrow T_{cons} = T_t \\ E_t = 1 \rightarrow T_{cons} = T_{ico} \end{cases}$$

Por tanto,

$$T_{cons} = T_t + (T_{ico} - T_t) \cdot E_t$$

Despejando el valor del grado de estratificación:

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (8)$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El programa de cálculo utilizado (Mathcad) necesita unos datos iniciales para comenzar el proceso de iteración:

$$T_{ici} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ci} = 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_{co} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ico} = 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cons} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$f = 0.6$$

$$T_t = \frac{T_{ico} + T_{red}}{2}$$

Utilizando la recomendación del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), el área de captación inicial será:

$$A_a = 0.5\text{m}^2 \cdot N_{personas} = 0.5 \cdot 6 = 3\text{m}^2$$

Como cada colector tiene un área de captación de 2.25 m^2 , será necesario empezar la estimación con dos colectores.

7.1.3 RESOLUCIÓN DEL SISTEMA

Después de haber realizado la primera estimación, se resuelve sistema de ecuaciones planteado, obteniendo los siguientes resultados medios mensuales:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
f	0.37	0.489	0.666	0.644	0.686	0.745	0.833	0.88	0.85	0.69	0.44	0.397
T _{ici} [°C]	23.39	32,14	41.14	40.05	42.81	46.08	50.33	52.5	51	43.4	31	27.6
T _{ci} [°C]	33.64	40.39	50.36	49.18	51.69	55.12	59.05	60.6	60	52.3	38.2	35.39
T _{co} [°C]	40.87	48.64	59.57	58.32	60.56	64.16	67.78	68.7	69.1	61.18	45.5	43.18
T _{ico} [°C]	33.06	39.74	49.63	48.46	50.98	54.4	58.36	59.9	59.3	51.6	37.7	34.77
T _{cons} [°C]	28.48	34.46	43.65	42.55	45.22	48.53	52.65	54.6	53.4	45.8	33	29.84
T _i [°C]	26.95	32.7	41.66	40.57	43.3	46.57	50.75	52.8	51.4	43.9	31.5	28.2
η	0.412	0.393	0.371	0.381	0.376	0.375	0.352	0.33	0.35	0.38	0.4	0.42

Tabla 35. Solución del sistema

Con esta configuración de dos captadores solares se cumple lo establecido en el CTE en cuanto al aporte solar mínimo, pero no se cumple la Ordenanza Municipal que establece un 60% mínimo de aporte. Debido a la imposibilidad física de colocar más superficie de captación, la instalación está exenta de cumplir dicha ordenanza.

Además, se observa que el aporte solar no supera el 100% tres veces ni el 110% en ningún caso.

El valor del aporte medio anual es: $f_{\text{anual}}=0.601$, por lo que se cumple perfectamente con las exigencias del CTE.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

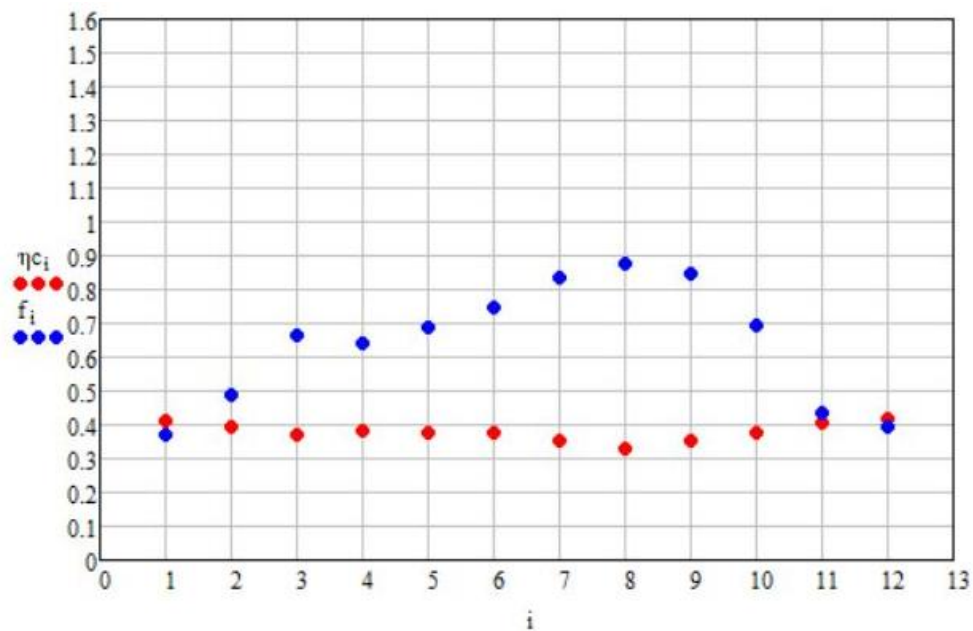


Ilustración 27. Variación anual del rendimiento del captador y del aporte solar

Recordando, la potencia térmica obtenida en los colectores es:

Mes	Q colectores [KW]
Enero	0.398
Febrero	0.458
Marzo	0.514
Abril	0.509
Mayo	0.493
Junio	0.503
Julio	0.482
Agosto	0.442
Septiembre	0.503
Octubre	0.495
Noviembre	0.398
Diciembre	0.432

Tabla 36. Potencia térmica generada en los captadores solares

7.2 DISTRIBUCIÓN DE ACS

Como ya se ha explicado en capítulos anteriores, la red de distribución de Agua Caliente Sanitaria es indirecta. Esto quiere decir que el agua que es calentado y almacenado en el acumulador solar no entra en contacto directo con la caldera de aporte.

Su funcionamiento es de tal forma que el agua del acumulador solar pasa directamente al interacumulador de ACS.

Este interacumulador tiene una entrada directa de AFS que está normalmente cerrada, otra entrada del circuito de recirculación de ACS y la entrada de la tubería proveniente del interacumulador solar.

Por otro lado, tiene una entrada indirecta, es decir, mediante el intercambiador de tipo serpentín, del agua de la caldera de aporte.

Este sistema de distribución es bastante común y es el sistema que respeta al máximo la instalación ya existente con la que contaba la vivienda.

Al ser una vivienda unifamiliar y cuenta con una presión de agua de red de 7 bar, suficiente para la distribución por toda la edificación por lo que no es necesaria la instalación de un grupo de presión que eleve la misma.

7.3 CIRCUITO DE CALEFACCIÓN

Como ya se ha comentado previamente, la vivienda de este proyecto consta de tres plantas, de las cuales solo dos están calefactadas.

A la hora de diseñar el circuito de calefacción se ha optado por diferenciar entre una zona de noche y una zona de día.

La zona de día corresponde a la primera planta, mientras que la zona de noche corresponde a la segunda planta.

Debido a la gran cantidad de superficie de captación que sería necesaria, el circuito de calefacción es totalmente independiente de la instalación solar. Así, el sistema de calefacción está constituido por dos circuitos con sus respectivas bombas.

Toda la tubería del circuito de calefacción está bajo el entarimado de madera y está recubierto de un aislante que minimiza las pérdidas térmicas durante la distribución.

El sistema de calefacción propuesto está pensado con el fin de optimizar la construcción ya existente evitando así un encarecimiento del proyecto. De esta manera, se ha optado por el diseño de una instalación convencional utilizando elementos radiadores de calor del modelo *XIAN 600N* de la marca *FERROLI*.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

En los dos circuitos principales, la temperatura a la que el agua entra en los radiadores es de 70°C, mientras que sale a una temperatura de 50°C. Por tanto, el salto térmico en los radiadores es:

$$\Delta T_{\text{radiadores}} = T_{\text{entrada, radiadores}} - T_{\text{salida, radiadores}} = 20^{\circ}\text{C}$$

Por lo que la temperatura media de los radiadores es:

$$T_{m, \text{radiadores}} = \frac{70 + 50}{2} = 60^{\circ}\text{C}$$

Además, el salto térmico en la instalación es:

$$\Delta T_{\text{instalacion}} = T_{m, \text{radiadores}} - T_{\text{interior}} \cong 60 - 20 = 40^{\circ}\text{C}$$

DATOS TÉCNICOS RADIADORES XIAN						
CARACTERÍSTICAS			XIAN 450 N	XIAN 600 N	XIAN 700 N	XIAN 800 N
Emisión térmica UNE EN 442	$\Delta T = 50^{\circ} \text{ C}$	W	90,8	122,9	142,2	160,2
		kcal/h	78	105,7	122,3	137,7
	$\Delta T = 60^{\circ} \text{ C}$	W	115,1	156,2	181,4	204,3
		kcal/h	99	134,3	156	175,7
	$\Delta T = 40^{\circ} \text{ C}$	W	67,83	91,66	105,62	118,93
		kcal/h	58,33	78,83	90,83	102,28
	Emisión baja temperatura $\Delta T = 30^{\circ} \text{ C}$	W	46,6	62,08	72	81
		kcal/h	40,08	53,39	61,92	69,66
Tª máxima de funcionamiento		Cº	110			
Exponente n			1,30483	1,31423	1,33400	1,33487
Km			0,550807	0,718974	0,770156	0,864470
Contenido agua	(litros)		0,31	0,39	0,45	0,50
Peso	(kg)		1,04	1,36	1,60	1,85
Dimensiones	A	(mm)	431	581	700	800
	B	(mm)	350	500	600	700
Conexiones	(Ø)		1"	1"	1"	1"

Tabla 37. Datos técnicos radiadores XIAN (FÉRROLI)

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Observando las características facilitadas por el fabricante, se puede asegurar que cada elemento del modelo seleccionado y con el salto térmico en los radiadores calculado, tiene una emisión térmica según UNE EN-442 de 91.66 W.

El método de cálculo empleado es igual para todas las estancias con únicas excepciones del descansillo situado en la segunda planta y de la escalera que une ambos pisos, donde, por exigencia de diseño, no se colocará ningún radiador.

Este método consiste en evaluar el número de elementos necesarios para suplir la carga térmica calculada en el apartado 3 y en obtener el caudal real que debe circular por cada estancia para poder calefactarla de manera correcta.

En primer lugar, se calcula el número de elementos teóricos necesarios:

$$N_{\text{elementos.teórico}} = \frac{Q_{\text{estancia}}}{\text{emisión térmica de cada elemento}}$$

Se selecciona la cifra entera inmediatamente superior.

En Mathcad utilizando el comando “*floor*” nos devuelve el valor del número entero calculado. Por tanto, el número de elementos reales es:

$$N_{\text{elementos.real}} = \text{floor}(N_{\text{elementos.teórico}}) + 1$$

El caudal que circula por cada radiador será:

$$\text{caudal}_{\text{radiador}} = \frac{N_{\text{elementos.real}} \cdot \text{emisión térmica de cada elemento}}{\Delta T_{\text{radiadores}} \cdot C_{p.\text{agua}}}$$

Para repartir la calefacción de una forma más eficiente, la totalidad de los elementos que necesitan algunas de las estancias se han repartido en varios grupos de elementos. En el ANEXO I está descrita en un plano la instalación de calefacción.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Los valores de número de elementos y caudal están calculados y mostrado en la siguiente tabla.

Estancia	Carga térmica [W]	Número de elementos	Caudal [kg/s]
Cocina	1343	15	0.016
Habitación 1	1100	12	0.013
Habitación 1.1	550	6	0.00657
Habitación 1.2	550	6	0.00657
Habitación 2	1171	13	0.014
Habitación 3	1182	13	0.014
Salón	3008	33	0.036
Salón.1	1002.66	11	0.012
Salon.2	1002.66	11	0.012
Salón.3	1002.66	11	0.012
Baño 1	638.721	7	0.007672
Pasillo	913.246	10	0.011
Habitación 4	2186	24	0.026
Habitación 4.1	1467	16	0.018
Habitación 4.2	719	8	0.008769
Habitación 5	1687	19	0.021
Habitación 5.1	1283	14	0.015
Habitación 5.2	458.3	5	0.00548
ala 2	1876	21	0.023
Sala 2.1	1283	14	0.015
Sala 2.2	641.275	7	0.007627
Baño 2	2597	29	0.032
Baño 2.1	1283	14	0.015
Baño 2.2	1375	15	0.016
TOTAL	18440	196	0.215

Tabla 38. Calefacción

8. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

Una vez diseñada la instalación, es necesario dimensionar los diferentes elementos que la componen.

En primer lugar, se dimensionará la instalación de ACS y posteriormente la instalación de calefacción.

Los elementos que se van a dimensionar en la instalación de ACS son la bomba del circuito primario, el acumulador solar, los vasos de expansión del circuito primario y del circuito de ACS, el acumulador de ACS, la bomba de ACS y toda la tubería que compone la instalación de ACS.

Por otro lado, los elementos de la instalación de calefacción que se van a dimensionar son las bombas necesarias de calefacción y la tubería de la red de calefacción.

Por último, se dimensiona la caldera de aporte, la bomba de circulación y su vaso de expansión, así como la aguja hidráulica a la entrada de la caldera de aporte.

8.1 DIMENSIONADO DE INSTALACIÓN SOLAR

En este apartado queda reflejado el dimensionamiento de la instalación solar. Sección y longitud de las tuberías necesarias, tamaño del interacumulador, selección de la bomba del circuito solar y dimensionado del vaso de expansión necesario.

8.1.1 TUBERÍAS

Debido a que en esta instalación el circuito secundario de la instalación solar está integrado en el interacumulador, se analiza solamente el circuito primario.

La longitud estimada de tubería de instalación es $L_1 = 20$ metros. Esta longitud corresponde a los metros lineales de tubería que se necesita en el circuito primario, es decir, entre los colectores y el intercambiador.

Por esta tubería circula el fluido caloportador, es decir, la disolución de propilenglicol en agua al 20%

En la tabla de pérdida de carga continua en tubo de cobre del ANEXO I se muestra la relación existente entre diámetro de tubería, caudal y pérdida de carga unitaria.

El caudal que circula por esta tubería es:

$$\dot{m}_1 = 0.016 \text{ Kg/s}$$

Y seleccionando una pérdida de carga unitaria de 8 mm.c.a/m se obtiene que el diámetro interior es $D_{int1} = 10 \text{ mm}$ y que el diámetro exterior es $D_{ext1} = 12 \text{ mm}$

Por tanto, el área interior de contacto con el fluido es:

$$A_{int1} = 2 \cdot \pi \cdot L_1 \cdot \frac{D_{int1}}{2} = 0.628 \text{ m}^2$$

El aislante elegido tiene un diámetro interior $D_{int.aislante} = 12 \text{ mm}$ y un diámetro exterior $D_{ext.aislante} = 32 \text{ mm}$. Sus propiedades térmicas vienen recogidas en el ANEXO I. La longitud de la tubería aislada que está expuesta al exterior es de 7 metros.

$$A_{ext.aislante} = 2 \cdot \pi \cdot L_{aislante} \cdot \frac{D_{ext.aislante}}{2} = 2.011 \text{ m}^2$$

En primer lugar, se calculan las pérdidas térmicas en la tubería.



Ilustración 28. Esquema de resistencias térmicas en tubo aislado

$$R_{total\ tubería} = R_{convec.int} + R_{tubo.1} + R_{aislante.1} + R_{convec.ext}$$

$$UA_1 = \frac{1}{R_{total\ tubería}}$$

▪ CONVECCIÓN INTERNA

Para el cálculo de la convección interna se emplean las siguientes expresiones:

$$R_{convec.int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_{int1}}$$

$$h_{int} = \frac{Nu_{int} \cdot k_1}{D_{int1}}$$

Utilizando la correlación de Dittus Boelter:

$$Nu_{int} = 0.023 \cdot Re_1^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_1^{0.4}$$

$$Pr_1 = \frac{C_{p.1} \cdot \mu_1}{k_1}$$

$$Re_1 = \frac{\dot{m}_1}{\mu_1 \cdot \pi \cdot D_{int1}}$$

Donde:

- h_{int} : Coeficiente de convección interna [W/m²·K]
- k_1 : Conductividad térmica del fluido caloportador [W/m·K]
- μ_1 : Viscosidad dinámica del fluido caloportador [Pa·s]
- Nu_{int} : Número de Nusselt de flujo interior en tubos
- Re_1 : Número de Reynolds
- Pr_1 : Número de Prandtl
- $C_{p.1}$: Poder calorífico del fluido caloportador [J/kg·K]
- ρ_1 : Densidad del fluido caloportador [kg/m³]

Por tanto,

$$Re_1 = 555.925$$

$$Pr_1 = 6.538$$

$$Nu_{int} = 7.654$$

$$h_{int} = 405.684 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$R_{convec.int} = 3.923 \cdot 10^{-3} K/W$$

- RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN LA TUBERÍA

Se utiliza la expresión general de conducción térmica en tubos concéntricos:

$$R_{tubo.1} = \frac{\ln \frac{D_{ext.1}}{D_{int.1}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_1}$$

Donde:

- k_{cu} : Conductividad térmica del cobre [W/m·K]

$$R_{tubo.1} = 3.767 \cdot 10^{-6} \text{ K/W}$$

- RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN EL AISLANTE

Al igual que en la conducción en la tubería, se utiliza la expresión general de la conducción en elementos tubulares:

$$R_{aislante.1} = \frac{\ln \frac{D_{ext.aislante}}{D_{int.aislante}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{aislante} \cdot L_1}$$

Donde:

- $k_{aislante}$: Conductividad térmica del aislante [W/m·K]

$$R_{aislante.1} = 0.205 \text{ K/W}$$

▪ RESISTENCIA TÉRMICA DE CONVECCIÓN EXTERIOR

Al igual que en la convección interior, se utiliza un método de cálculo similar, pero utilizando la correlación de Hilpert de convección forzada.

Al tratarse de una instalación situada en el exterior, solo estudiaremos el tramo de la tubería del circuito primario que está situada en el exterior.

Para este cálculo se necesita conocer los datos de velocidad del viento mensuales y las características del aire que se encuentran en el ANEXO I.

$$R_{convec.ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot A_{aislante}}$$

$$h_{ext} = \frac{Nu_{ext.aire} \cdot k_{aire}}{D_{ext.aislante}}$$

Utilizando la correlación de Hilpert:

$$Nu_{ext.aire} = C_{ext} \cdot Re_{exterior.aire}^{m_H} \cdot Pr_{exterior.aire}^{\frac{1}{3}}$$

$$Pr_{exterior.aire} = \frac{C_{p.aire} \cdot \mu_{aire}}{k_{aire}}$$

$$Re_{exterior.aire} = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{viento} \cdot D_{ext.aire}}{\mu_{aire}}$$

Donde:

- h_{ext} : Coeficiente de convección externa [W/m²·K]
- k_{aire} : Conductividad térmica del aire [W/m·K]
- μ_{aire} : Viscosidad dinámica del aire [Pa·s]
- Nu_{ext} : Número de Nusselt de flujo exterior del aislante
- $Re_{ext.aislante}$: Número de Reynolds
- $Pr_{ext.aislante}$: Número de Prandtl
- $C_{p.aire}$: Poder calorífico del aire [J/kg·K]
- ρ_{aire} : Densidad del aire [kg/m³]
- V_{viento} : Velocidad del viento [m/s]
- C_{ext} y m_H dependen de la geometría del tubo y del número de Reynolds: $C_{ext} = 0.193$; $m_H = 0.618$

Por tanto,

$$Re_{exterior.aire} = 1.438 \cdot 10^4$$

$$Pr_{exterior.aire} = 0.746$$

$$Nu_{exterior.aire} = 64.961$$

$$h_{ext} = 0.223 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$R_{convec.ext} = 6.38 \text{ K/W}$$

La resistencia térmica total de la tubería es:

$$R_{total\ tubería} = R_{convec.int} + R_{tubo.1} + R_{tubo.1} + R_{aislante.1} + R_{convec.ext} = 6.59 \text{ K/W}$$

El factor UA de la tubería:

$$UA_1 = \frac{1}{R_{total\ tubería}} = 0.152 \text{ W/K}$$

8.1.2 INTERACUMULADOR SOLAR

A la hora de dimensionar el interacumulador solar hay que considerar dos parámetros esenciales: tamaño del acumulador y potencia del intercambiador.

En primer lugar, se determina la potencia térmica necesaria que debe ser capaz de transferir el intercambiador. Para ello, se calcula la temperatura del fluido primario a la entrada y a la salida del intercambiador.

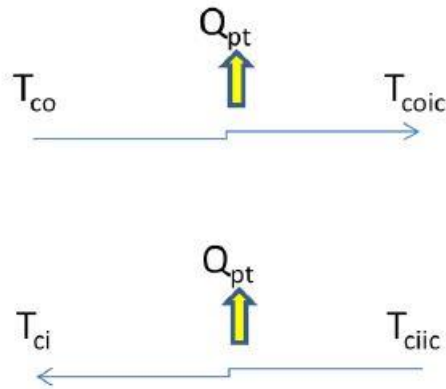


Ilustración 29. Balance de energía en la tubería

Utilizando la expresión del balance de energía en el tramo de entrada al colector:

$$\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{co} - T_{coic}) = UA_1 \cdot \left[\left(\frac{T_{coic} - T_{co}}{2} \right) - T_0 \right]$$

Se despeja la temperatura de entrada en el intercambiador:

$$T_{coic} = T_{co} - \left[\frac{T_0}{\frac{1}{2} + \frac{\dot{m}_1 \cdot c_{p1}}{UA_1}} \right] = 40.17^\circ\text{C}$$

Utilizando la expresión del balance de energía en el tramo de salida del colector:

$$\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{ciic} - T_{ci}) = UA_1 \cdot \left[\left(\frac{T_{ciic} - T_{ci}}{2} \right) - T_0 \right]$$

Se despeja la temperatura de salida del intercambiador:

$$T_{ciic} = T_{ci} + \left[\frac{T_0}{\frac{1}{2} - \frac{\dot{m}_1 \cdot c_{p1}}{UA_1}} \right] = 32.93^\circ\text{C}$$

Por tanto, la potencia del intercambiador es:

$$Q_{intercambiador} = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{coic} - T_{ciic}) = 438.08 \text{ W}$$

Por otro lado, el CTE establece una sugerencia de dimensionamiento del acumulador que cumpla que:

$$50 < \frac{\text{Volumen de acumulación}}{\text{Área de captación}} < 180$$

De esta sugerencia se obtiene que el volumen de acumulación debe ser:

$$223 \text{ Litros} < \text{Volumen de acumulación} < 802.8 \text{ Litros}$$

Con las dos condiciones de diseño, el interacumulador solar elegido para este proyecto es el modelo *INOXUNIT/ES 300-P* de la marca *FÉRROLI* que tiene una capacidad de 300 litros y una potencia de intercambio de 5.56 KW.

8.1.3 BOMBA CIRCUITO SOLAR

Para el dimensionado de la bomba del circuito solar es necesario conocer la pérdida de carga lineal en la tubería, así como la pérdida de carga en el intercambiador, en los accesorios y en el conjunto de colectores.

▪ PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍA

La pérdida de carga lineal en las tuberías se da por la rugosidad interna de la tubería y la fricción del fluido con las paredes de la misma.

Utilizando la tabla de pérdida de carga continua en tubo de cobre (ANEXO I) para tramos de tubería:

$$\begin{aligned} \cdot \Delta P_{tubo \text{ unitario}} &= 196 \text{ Pa/m} \\ \Delta P_{tubo} &= L_1 \cdot \Delta P_{tubo \text{ unitario}} = 3.92 \cdot 10^3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

▪ PÉRDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS

Las pérdidas de carga en accesorios son aquellas cargas puntuales que se dan en los diferentes accesorios de la instalación: válvulas, codos, “Tés”.

El valor de estas pérdidas localizadas suele ser mucho menor que la pérdida de carga lineal de la tubería, y la expresión utilizada para calcularlo es:

$$\Delta P_{accesorio} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

La velocidad del fluido por dentro de la tubería es:

$$v_1 = \frac{\frac{m_1}{\rho_1}}{\pi \cdot \left(\frac{D_{int.1}}{2}\right)^2} = 0.197 \text{ m/s}$$

El número de elementos estimado es de dos “Tés”, seis válvulas esféricas y doce codos a 90° de radio normal.

El factor de pérdidas global “K” se obtiene de la siguiente tabla:

Accesorios	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$)	24.0	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
"T" por la salida lateral	1.80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Tabla 39. Factor K de pérdidas para accesorios

Por tanto, el factor $K_{\text{accesorios}} = 72.6$

$$\Delta P_{\text{accesorio}} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1432 \text{ Pa}$$

▪ PÉRDIDA DE CARGA EN INTERCAMBIADOR

El fabricante del interacumulador nos indica expresamente que la pérdida de carga que conlleva el circuito de serpentín es de 0.43 m.c.a

$$\Delta P_{\text{intercambiador}} = 4214 \text{ Pa}$$

▪ PÉRDIDA DE CARGA EN COLECTORES

El fabricante del colector solar no muestra cual es el valor de la pérdida de carga y nos asegura que es muy pequeña, además de que se pueden colocar en serie hasta 10 colectores.

A modo preventivo y siguiendo las indicaciones de otros fabricantes, se estima que la pérdida de carga en cada colector es de 20 mm.c.a.

Al estar los colectores colocados en paralelo, la pérdida de carga total de los colectores corresponde a la pérdida de carga unitaria.

$$\Delta P_{\text{colectores}} = 196 \text{ Pa}$$

▪ PÉRDIDA DE CARGA TOTAL

$$\Delta P_{TOTAL \text{ circuito primario solar}} = \Delta P_{tubo} + \Delta P_{accesorio} + \Delta P_{intercambiador} + \Delta P_{intercambiador}$$

$$\Delta P_{TOTAL \text{ circuito primario solar}} = 9666 \text{ Pa}$$

▪ POTENCIA DE LA BOMBA

Una vez obtenida la pérdida de carga en el circuito primario se calcula la potencia de la bomba necesaria para la circulación del fluido caloportador:

$$W_{bomba1} = \frac{m_1 \cdot \Delta P_{TOTAL \text{ circuito primario solar}}}{\rho_1 \cdot \eta_{bomba}}$$

Se supone un rendimiento de bomba $\eta_{bomba} = 0.6$

$$W_{bomba1} = 0.249 \text{ W}$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*



Ilustración 30. Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4

8.1.4 VASO DE EXPANSIÓN CIRCUITO PRIMARIO SOLAR

Como se ha explicado anteriormente, el vaso de expansión es un elemento de seguridad básico que se encarga de absorber las variaciones de volumen del fluido debido a las variaciones de temperatura. Debe tener un tamaño acorde al volumen de agua que está en el circuito al que se refiere, en este caso, el circuito primario solar.

$$Vol_{vaso1} = Vol_{circuito1} \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- $Vol_{circuito1}$: Volumen de fluido que ocupa la red de tuberías, el colector y el intercambiador. Se aplica un factor de seguridad que sobredimensiona el volumen en un 20%

$$Vol_{circuito1} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo1} + Vol_{colector} + Vol_{intercambiador})$$

- C_e : Coeficiente de dilatación (NORMA UNE 100.155). Es función del porcentaje de propilenglicol en la disolución del fluido caloportador y la temperatura que alcanza el mismo. En este caso, $C_e = 0.08$
- C_p : Coeficiente de presión. Depende de la presión inicial y final del vaso de expansión cuando actúa. En este caso la presión final (de uso) es de 7.5 bar, mientras que la presión inicial es de 1.5 bar.

$$C_p = \frac{P_f}{P_f - P_i} = 1.25$$

Para calcular el volumen del circuito primario solar, hay que ir elemento a elemento:

- TUBERÍA

$$Vol_{tubo1} = L_1 \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{int.1}}{2} \right]^2 = 1.571 \text{ Litros}$$

- COLECTORES

En este proyecto se colocan dos colectores y el volumen de agua que contiene cada colector es de 1.96 litros.

$$Vol_{tubo1} = N_{colectores} \cdot Vol_{colector\ unitario} = 3.92 \text{ Litros}$$

- INTERCAMBIADOR

En este proyecto se colocan un intercambiador de serpentín cuyo volumen de agua contenido es de 6.52 litros (DATO DE FABRICANTE).

$$Vol_{intercambiador} = 6.52 \text{ Litros}$$

Por tanto, el volumen del circuito primario solar es:

$$Vol_{circuito1} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo1} + Vol_{colector} + Vol_{intercambiador}) = 14.413 \text{ Litros}$$

Finalmente, el volumen que tiene que tener el vaso de expansión es de:

$$Vol_{vaso1} = Vol_{circuito1} \cdot C_e \cdot C_p = 1.441 \text{ Litros}$$

El vaso de expansión elegido es el modelo 2 SMF con capacidad de 2 litros.



Ilustración 31. Vaso de expansión 5 SMF

8.1.5 VASO DE EXPANSION CIRCUITO SECUNDARIO SOLAR

El circuito secundario está integrado dentro del interacumulador. Para absorber la posible dilatación del agua en el acumulador y en la tubería necesaria se coloca un vaso de expansión. Este vaso de expansión es de suma importancia debido al gran volumen de acumulación que tiene el tanque acumulador.

El método de cálculo es exactamente el mismo que en el circuito primario.

La longitud de esta tubería del circuito secundario es de 3 metros y el diámetro interno que está en contacto con el agua es de 10 mm.

$$Vol_{vaso2} = Vol_{circuito2} \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- $Vol_{circuito1}$: Volumen de fluido que ocupa la red de tuberías, el colector y el intercambiador. Se aplica un factor de seguridad que sobredimensiona el volumen en un 20%

$$Vol_{circuito2} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo2} + Vol_{acumulador})$$

- C_e : Coeficiente de dilatación (NORMA UNE 100.155). Es función del porcentaje de propilenglicol en la disolución del fluido caloportador y la temperatura que alcanza el mismo. En este caso, $C_e = 0.08$
- C_p : Coeficiente de presión. Depende de la presión inicial y final del vaso de expansión cuando actúa. En este caso la presión final (de uso) es de 7.5 bar, mientras que la presión inicial es de 1.5 bar.

$$C_p = \frac{P_f}{P_f - P_i} = 1.25$$

- TUBERÍA

$$Vol_{tubo1} = L_2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{int.2}}{2} \right]^2 = 0.236 \text{ Litros}$$

- ACUMULADOR

En este proyecto se colocan un intercambiador de serpentín cuyo volumen de agua contenido es de 300 litros

$$Vol_{intercambiador} = 300 \text{ Litros}$$

Por tanto, el volumen del circuito primario solar es:

$$Vol_{circuito2} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo2} + Vol_{acumulador}) = 360.283 \text{ Litros}$$

Finalmente, el volumen que tiene que tener el vaso de expansión es de:

$$Vol_{vaso1} = Vol_{circuito1} \cdot C_e \cdot C_p = 36.028 \text{ Litros}$$

El vaso de expansión elegido es el modelo 40 ACS de Salvador Escoda con capacidad de 40 litros.



Ilustración 32. Vaso de expansión 40 ACS

8.2 DIMENSIONADO DE INSTALACIÓN DE ACS

En este apartado se dimensionará la red de distribución de ACS y todos sus elementos. La normativa de aplicación que se utilizará es el Código Técnico de la Edificación en sus apartados de Salubridad y Ahorro de Energía (CTE-HS, CTE-HE).

Los elementos que componen esta instalación de ACS son el interacumulador de ACS, la red de tuberías, el vaso de expansión de ACS, el sistema de recirculación y la bomba de ACS.

8.2.1 INTERACUMULADOR ACS

El dimensionado del acumulador de ACS requiere un cálculo experimental. Generalmente tiene un tamaño muy inferior al acumulador solar y, aunque se podría sobredimensionar y elegir el mismo acumulador que en el circuito solar, en este proyecto se ha seguido la recomendación descrita en el Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación (DTIE 1.01). Este método está basado en la experiencia y en leyes estadísticas.

- CONSUMO MÁXIMO DIARIO:

En primer lugar, se establece el caudal máximo diario. Este consumo se estima como el 75% del consumo total en un día y ocurre entre las 17:00h y las 20:00h.

Como ya se vio en apartados anteriores, el consumo de ACS diario de esta instalación es de 188.16 litros/día.

Por tanto:

$$Caudal_{max} = 0.75 \cdot Caudal_{ACS} = 141.12 \frac{\text{Litros}}{\text{día}} = 3.92 \cdot 10^{-5} m^3/s$$

- PERÍODO DE PUNTA:

El período de punta es el tiempo estimado en el que ocurrirá el consumo máximo diario. Es función del número de viviendas de un edificio. En este caso, al tratarse de una vivienda unifamiliar, el número de viviendas es $N_{VE}=1$.

$$T_{punta} = 5 \cdot \frac{N_{VE}^{0.905}}{15 + N_{VE}^{0.92}} = 0.313 \text{ horas} = 1125 \text{ segundos}$$

- PERÍODO DE PREPARACIÓN

El período de preparación representa el tiempo que tarda el intercambiador en preparar todo el volumen de acumulación. Este tiempo de preparación debe estar entre una y tres horas.

Debido al tamaño de esta instalación, se estima un tiempo de preparación de dos horas.

$$T_{preparacion} = 2 \text{ horas} = 7200 \text{ segundos}$$

- FACTOR DE ESTRATIFICACIÓN Y FACTOR DE MEZCLA

El factor de estratificación está condicionado por la geometría del acumulador. Relaciona la altura del mismo con el diámetro.

$$f_{estrat} = \frac{H_{acum}}{D_{acum}}$$

A priori no se sabe el valor de este factor pues se desconocen los valores geométricos, por tanto, se estima un valor $f_{estrat} = 2$ ya que, a partir de este valor, la estratificación se ve favorecida.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el factor de forma. Este factor representa el aprovechamiento útil del acumulador, ya que, aunque el diseño de los acumuladores es tal que se favorece la estratificación para obtener a la salida una temperatura constante, es imposible que sea totalmente así. Por tanto, existe el factor de forma que considera la diferencia entre volumen útil de acumulador y el volumen efectivo del mismo.

La expresión que sigue este factor de forma es:

$$f_{forma} = 0.63 + 0.14 \cdot f_{estrat} = 0.91$$

- VOLUMEN ÚTIL DE ACUMULACIÓN

El volumen útil es función del tiempo de preparación, del periodo punta, del consumo máximo diario y del factor de forma:

$$V_{\text{útil}} = \frac{Caudal_{\text{max}}}{\frac{1}{T_{\text{punta}}} + \frac{1}{T_{\text{preparacion}} \cdot f_{\text{forma}}}} = 37.676 \text{ Litros}$$

Finalmente, el volumen total del acumulador es:

$$V_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{útil}}}{f_{\text{forma}}} = 41.115 \text{ Litros}$$

Por otro lado, al tratarse de un interacumulador, el intercambiador interno debe ser capaz de transferir toda la energía térmica que requiere el circuito de ACS.

$$Q_{\text{util ACS}} = \frac{\rho_{\text{agua}} \cdot Q_{\text{max}} \cdot C_{p.\text{agua}} \cdot (T_{\text{suministro}} - T_{\text{red}})}{\left(1 + \frac{f_{\text{forma}} \cdot T_{\text{preparacion}}}{T_{\text{punta}}}\right)}$$

Se dimensiona para el mes en el que esta potencia es mayor, es decir, en enero, cuya temperatura del agua de red es la más baja del año $T_{\text{red.enero}} = 10^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\text{util ACS}} = 1184 \text{ W}$$

Con estas condiciones de diseño se determina que el interacumulador de ACS es el modelo *INOXUNIT/ES 80-P* de la marca *FÉRROLI*, cuya capacidad es de 80 litros, su potencia de intercambio es de 26.4 KW y su grado de estratificación es de 2.045



Ilustración 33. Interacumulador INOXUNIT/ES 80-P de FÉRROLI

8.2.2 TUBERÍAS

La red de ACS queda descrita en el esquema de instalación del ANEXO I.

Para el dimensionado de las tuberías de la red de ACS, se sigue el apartado de Salubridad del Código Técnico de la Edificación (CTE-HS).

Éste cálculo se basa en el consumo instantáneo de ACS que está tabulado según la aplicación.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 40. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato (CTE)

En la instalación proyectada existe:

- 1 Fregadero doméstico
- 2 Duchas
- 4 Lavabos
- 1 Bañera
- 1 Lavadora
- 1 Lavavajillas doméstico
- 3 Inodoros con cisterna

Aplicando un factor de seguridad, se dimensiona para estimar un caudal mayor que el mínimo exigido, por lo que el caudal instantáneo de ACS es de 2.25 L/s

Aplicando, además, un factor de simultaneidad del 35%, el gasto másico necesario de ACS es:

$$\dot{m}_{ACS} = 0.781 \text{ Kg/s}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

La longitud de la red de ACS es de 45.75 metros. Para calcular esta longitud se ha medido la correspondiente distancia entre las tomas de ACS y el depósito acumulador de ACS.

El diámetro de la tubería se obtiene del CTE-HS, donde hay que distinguir entre tramos de alimentación y tramos de derivación:

Tramo considerado	Diámetro nominal del tubo de alimentación	
	Acero	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.	$\frac{3}{4}$	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial	$\frac{3}{4}$	20
Columna (montante o descendente)	$\frac{3}{4}$	20
Distribuidor principal	1	25
Alimentación equipos de climatización	< 50 kW	$\frac{1}{2}$
	50 - 250 kW	$\frac{3}{4}$
	250 - 500 kW	1
	> 500 kW	1 $\frac{1}{4}$

Tabla 41. Diámetros mínimos de alimentación (CTE)

Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	$\frac{1}{2}$	12
Lavabo, bidé	$\frac{1}{2}$	12
Ducha	$\frac{1}{2}$	12
Bañera <1,40 m	$\frac{3}{4}$	20
Bañera >1,40 m	$\frac{3}{4}$	20
Inodoro con cisterna	$\frac{1}{2}$	12
Inodoro con fluxor	1- 1 $\frac{1}{2}$	25-40
Urinario con grifo temporizado	$\frac{1}{2}$	12
Urinario con cisterna	$\frac{1}{2}$	12
Fregadero doméstico	$\frac{1}{2}$	12
Fregadero industrial	$\frac{3}{4}$	20
Lavavajillas doméstico	$\frac{1}{2}$ (rosca a $\frac{3}{4}$)	12
Lavavajillas industrial	$\frac{3}{4}$	20
Lavadora doméstica	$\frac{3}{4}$	20
Lavadora industrial	1	25
Vertedero	$\frac{3}{4}$	20

Tabla 42. Diámetros mínimos de ramal (CTE)

Por tanto, toda la tubería de alimentación tiene un diámetro interior de 20 mm y exterior de 22 mm; mientras que los tramos de tubería que enlazan con los diferentes elementos tienen un diámetro interior de 12 mm y exterior de 14 mm, a excepción de la toma a la lavadora doméstica (20-22 mm) y la bañera (20-22 mm)

8.2.3 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

El sistema de recirculación se diseña con el fin de mantener en la red de ACS agua a temperatura de suministro para que, durante las paradas largas de uso, no se desperdicie grandes cantidades de agua por parte del usuario que espera a que ésta se caliente.

Este sistema conecta el grifo más lejano con el interacumulador de ACS, haciendo que la red de ACS se convierta en un circuito cerrado.

Consta de una bomba de recirculación y un sistema de control por variación de temperatura. Este sistema de control hace que la bomba de recirculación arranque si llega una señal diferencial entre el último grifo y el acumulador de ACS de 3°C. Si la diferencia de temperatura es menor de 0°C, la bomba se detiene.

El Código Técnico de la Edificación establece que el caudal de retorno debe ser mínimo el 10% del caudal de alimentación y se debe considerar que el diámetro interno mínimo de la tubería de recirculación es de 16 mm. En este caso se ha considerado un diámetro interior de 20 mm.

Para diámetros especiales, el caudal de recirculación viene descrito en el CTE:

Diámetro nominal de la tubería	Caudal recirculado (l/h)
½	140
¾	300
1	600
1 ¼	1.100
1 ½	1.800
2	3.300

Tabla 43. Caudal de recirculación (CTE)

En este caso el gasto másico de recirculación es:

$$\dot{m}_{recirculación} = 0.0781 \frac{Kg}{s} = 281.16 L/h$$

Utilizando la tabla de pérdida de carga continua en tubo de cobre (ANEXO I) para tramos de tubería:

$$\cdot \Delta P_{recirculación\ unitario} = 196 Pa/m$$

$$\Delta P_{recirculación} = 1.25 \cdot L_{recirculación} \cdot \Delta P_{recirculación\ unitario} = 1.736 \cdot 10^4 Pa$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Una vez obtenida la pérdida de carga en el circuito de recirculación de ACS, se calcula la potencia de la bomba necesaria para la circulación del agua:

$$W_{recirculación} = \frac{\dot{m}_{recirculación} \cdot \Delta P_{recirculación}}{\rho_{agua} \cdot \eta_{bomba}}$$

Se supone un rendimiento de bomba $\eta_{bomba} = 0.6$

$$W_{recirculación} = 2.278 \text{ W}$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*



Ilustración 34. Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4

8.2.4 VASO DE EXPANSION CIRCUITO ACS

Como se ha explicado anteriormente, el vaso de expansión es un elemento de seguridad básico que se encarga de absorber las variaciones de volumen del fluido debido a las variaciones de temperatura. Debe tener un tamaño acorde al volumen de agua que está en el circuito al que se refiere, en este caso, el circuito de recirculación.

$$Vol_{vaso\ ACS} = Vol_{circuito\ ACS} \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- $Vol_{circuito\ ACS}$: Volumen de fluido que ocupa la red de tubería de ACS, el circuito de recirculación y el acumulador de ACS. Se aplica un factor de seguridad que sobredimensiona el volumen en un 20%

$$Vol_{circuito\ ACS} = 1.2 \cdot (Vol_{tuboACS} + Vol_{acumulador\ ACS})$$

- C_e : Coeficiente de dilatación (NORMA UNE 100.155). Es función del porcentaje de propilenglicol en la disolución del fluido caloportador y la temperatura que alcanza el mismo. En este caso, $C_e = 0.08$
- C_p : Coeficiente de presión. Depende de la presión inicial y final del vaso de expansión cuando actúa. En este caso la presión final (de uso) es de 7.5 bar, mientras que la presión inicial es de 1.5 bar.

$$C_p = \frac{P_f}{P_f - P_i} = 1.25$$

Se calcula el volumen de agua que reside en la tubería. Esta agua ocupa la tubería de recirculación y la propia tubería de ACS

$$Vol_{tuboACS} = L_{ACS} \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{int.ACS}}{2} \right]^2 + (L_{recirculacion} - L_{ACS}) \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{int.recir}}{2} \right]^2 = 19.41 \text{ Litros}$$

Además, hay que considerar el volumen del acumulador de ACS:

$$Vol_{acumulador\ ACS} = 80 \text{ Litros}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El volumen total de agua en el circuito de ACS es:

$$Vol_{circuito ACS} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo ACS} + Vol_{acumulador ACS}) = 119.292 \text{ Litros}$$

Por lo que el volumen del vaso de expansión de ACS es:

$$Vol_{vaso ACS} = Vol_{circuito ACS} \cdot C_e \cdot C_p = 16.7 \text{ Litros}$$

El vaso de expansión elegido es el modelo 18 CMR de Salvador Escoda con capacidad de 18 litros.



Ilustración 35. Vaso de expansión 18 CMR

8.2.5 BOMBA ACS

Aunque la red de ACS opera a la presión de la red pública de 7 bar, sin necesidad de grupo de bombeo, es necesaria una bomba para que circule el agua por el circuito de alimentación al intercambiador de ACS.

Debido al gran volumen de acumulación, el tamaño de las bombas de este tipo no suele ser muy grande ya que no manejan grandes caudales.

Para el dimensionado de esta bomba se han seguido las indicaciones del fabricante del interacumulador.

En primer lugar, se calcula el gasto másico que va a circular por esta línea, a la que se denomina como línea de intercambio de ACS. Este gasto másico se determina aplicando un balance de energía en el intercambiador:

$$\dot{m}_{intercambio\ ACS} = \frac{Q_{ACS}}{\Delta T_{ACS} \cdot C_{p\ agua}}$$

Donde:

- Q_{ACS} : Potencia térmica necesaria para calentar Agua Caliente Sanitaria [W].
- ΔT_{ACS} : Diferencia de temperatura entre entrada y salida del agua proveniente de la caldera [K].
- $C_{p\ agua}$: Poder calorífico del agua. [J/kg]

El fabricante del intercambiador recomienda hacer una estimación de la temperatura de entrada y de salida del agua en esta línea. Por tanto, se hacen las siguientes consideraciones:

- Temperatura de entrada del fluido caliente (entrada al intercambiador de la línea de intercambio de ACS, proveniente de la caldera de aporte): 90°C
- Temperatura de salida del fluido caliente (salida del intercambiador de la línea de intercambio de ACS, hacia la caldera de aporte): 70°C

$$\Delta T_{ACS} = 20^{\circ}\text{C}$$

Por lo que:

$$\dot{m}_{intercambio\ ACS} = 0.019\text{ kg/s}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Al igual que se ha hecho en otros apartados, se dimensiona este tramo de tubería que, utilizando las tablas de pérdidas de carga lineal en tubos de cobre (ANEXO I): $D_{\text{interior intercambio ACS}} = 8 \text{ mm}$; $D_{\text{exterior intercambio ACS}} = 10 \text{ mm}$.

La longitud de este tramo de tubería es de 3 metros.

$$\cdot \Delta P_{\text{intercambio ACS unitario}} = 196 \text{ Pa/m}$$

Aplicando un sobredimensionamiento del 25% por pérdidas en accesorios:

$$\Delta P_{\text{intercambio ACS}} = 1.25 \cdot L_{\text{intercambio ACS}} \cdot \Delta P_{\text{intercambio ACS unitario}} = 735.45 \text{ Pa}$$

Una vez obtenida la pérdida de carga en el circuito de recirculación de ACS, se calcula la potencia de la bomba necesaria para la circulación del agua:

$$W_{\text{bomba ACS}} = \frac{\dot{m}_{\text{intercambio ACS}} \cdot \Delta P_{\text{intercambio ACS}}}{\rho_{\text{agua}} \cdot \eta_{\text{bomba}}}$$

Se supone un rendimiento de bomba $\eta_{\text{bomba}} = 0.6$

$$W_{\text{bomba ACS}} = 0.023 \text{ W}$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*



Ilustración 36. Bomba WILO, modelo STRATOS 25/1-4

8.3 DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN

La red de calefacción de este proyecto está basada en una red previa ya existente. Como ya se ha mencionado anteriormente, está estructurada en dos ramales principales: día y noche.

Estos dos ramales están separados para un mejor control, así existe una bomba para el ramal diurno y otra bomba para la circulación del agua en el ramal nocturno.

El ramal de día está diseñado para cubrir las necesidades térmicas de lo que en un principio se considera la zona de día, es decir, la zona de la vivienda en la que se estima que más tiempo estará ocupada. Esta zona abarca la primera planta de la vivienda, donde está situado el salón, la cocina, un baño y tres habitaciones de poco uso.

Por otro lado, el ramal de noche cubre las necesidades de la zona de noche, pensado para funcionar durante las horas nocturnas y de descanso. Esta zona abarca la segunda planta, donde se sitúan los dos dormitorios principales, un baño grande y una sala destinada al descanso y al ocio.

El dimensionado de la instalación de calefacción se centra en las tuberías que conforman la red, la bomba de día y la bomba de noche.

Tanto la bomba de día como la bomba de noche se encuentra situada en el cuarto de calderas.

8.3.1 TUBERÍAS

La red de tubería está optimizada para aprovechar al máximo los materiales y economizar el proyecto final, utilizando debidamente las secciones de tubería acorde a las necesidades térmicas y de caudal.

En el esquema de instalación (ANEXO I) se puede observar cual es la distribución física de las tuberías por la vivienda.

En este apartado quedan reflejados los diámetros interior y exterior de cada tramo de tubería, así como su distancia y pérdida de carga.

El cálculo de la pérdida de carga está realizado siguiendo la misma metodología que el resto de tuberías de este proyecto, así es, utilizando la tabla de pérdidas de carga lineales en tubería de cobre (ANEXO I).

A continuación, se muestran los valores tabulados de dimensionamiento para los ramales de día y de noche.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

- ZONA DE DÍA

	Gasto másico [kg/s]	D interior [mm]	D exterior [mm]	ΔP unitaria [Pa/m]	L [m]	ΔP [Pa]
Cocina	0.016	8	10	176.5	2.27	500.819
Habitación 1.1	0.00657	8	10	78.448	1.6	156.896
Habitación 1.2	0.00657	8	10	78.448	3.7	362.822
Habitación 2	0.014	8	10	176.5	8.6	1897
Habitación 3	0.014	8	10	176.5	8.9	1964
Salón.1	0.012	8	10	166.7	0.9	187.537
Salón.2	0.012	8	10	166.7	1.74	362.572
Salón.3	0.012	8	10	166.7	8.205	1677
Baño 1	0.00767	8	10	98.06	1.5	183.863
Pasillo	0.011	8	10	98.06	3.086	378.266
Estancia 3 + baño	0.022	10	12	137.28	3.56	610.896
Estancia 3 + baño + cocina	0.038	10	12	245.15	0.8	245.15
Estancia 3 + baño + cocina + pasillo	0.049	12	14	176.5	2.4	529.5
Ramal 1	0.056	14	16	137.3	5.85	1004
Ramal 2	0.021	10	12	117.67	5.55	816.336
Ramal 1 + Ramal 2	0.077	14	16	205.93	1.36	350.081
Ramal 1 + Ramal 2 + salón.3	0.089	16	18	176.51	4.91	1083
Ramal 1 + Ramal 2 + salón.3 + salón.2	0.101	16	18	196.12	7	1716
Ramal Día	0.113	16	18	254.96	4.4	1683
TOTAL DIA					76.176	15710

Tabla 44. Tabla de dimensionamiento del ramal DIA

Los valores útiles para el cálculo y dimensionado destacables son:

$$\dot{m}_{\text{día}} = 0.113 \text{ kg/s}$$

$$\Delta P_{\text{TOTAL día}} = 15710 \text{ Pa} = 0.1571 \text{ bar}$$

$$L_{\text{TOTAL día}} = 76.176 \text{ metros}$$

- ZONA DE NOCHE

	Gasto másico [kg/s]	D interior [mm]	D exterior [mm]	ΔP unitaria [Pa/m]	L [m]	ΔP [Pa]
Habitación 4.1	0.018	8	10	235.34	12.17	3580
Habitación 4.2	0.008769	8	10	98.06	10.27	1259
Habitación 5.1	0.015	8	10	196.12	0.8	196.12
Habitación 5.2	0.00548	8	10	44.13	0.2	11.033
Sala 2.1	0.015	8	10	176.5	1.08	238.275
Sala 2.2	0.007627	8	10	68.642	2.17	186.191
Baño 2.1	0.015	8	10	176.5	1.08	238.275
Baño 2.2	0.016	8	10	196.12	1.08	264,762
Estancia 4.2 + estancia 5.2	0.014	8	10	156.896	5.25	1030
Estancia 4.2 + estancia 5.2 + estancia 5.1	0.03	10	12	196.12	12.05	2954
Ramal 3	0.045	12	14	176.5	10.75	2372
Estancia 4.1 + sala 2.2	0.025	10	12	137.3	8.78	1507
Estancia 4.1 + sala 2.2 + sala 2.1	0.041	12	14	176.5	7.1	1566
Ramal 4	0.057	14	16	137.3	6.7	1150
Ramal Noche	0.102	16	18	196.12	5.95	1750
TOTAL NOCHE					84.83	18120

Tabla 45. Tabla de dimensionamiento del ramal NOCHE

Por su parte, los valores destacables del circuito de calefacción de noche son:

$$\dot{m}_{noche} = 0.102 \text{ kg/s}$$

$$\Delta P_{TOTAL \text{ noche}} = 18120 \text{ Pa} = 0.1812 \text{ bar}$$

$$L_{TOTAL \text{ noche}} = 84.83 \text{ metros}$$

El gasto másico total de agua de calefacción es:

$$\dot{m}_{calefacción} = \dot{m}_{noche} + \dot{m}_{día} = 0.215 \text{ kg/s} = 774 \text{ Litros/h}$$

8.3.2 BOMBA DÍA

Una vez obtenida la pérdida de carga en el circuito de calefacción de día, se calcula la potencia de la bomba necesaria para la circulación del agua:

$$W_{bomba\ día} = \frac{\dot{m}_{día} \cdot \Delta P_{TOTAL\ día}}{\rho_{agua} \cdot \eta_{bomba\ día}}$$

Se supone un rendimiento de bomba $\eta_{bomba\ día} = 0.6$

$$W_{bomba\ día} = 2.98\ W$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*

8.3.3 BOMBA NOCHE

Procediendo de igual manera, se dimensiona la bomba necesaria para hacer circular el agua de calefacción del circuito de noche:

$$W_{bomba\ noche} = \frac{\dot{m}_{noche} \cdot \Delta P_{TOTAL\ noche}}{\rho_{agua} \cdot \eta_{bomba\ noche}}$$

Se supone un rendimiento de bomba $\eta_{bomba\ noche} = 0.6$

$$W_{bomba\ día} = 3.103\ W$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*

8.4 DIMENSIONADO SISTEMA DE APORTE

La instalación de un sistema de aporte auxiliar de energía es fundamental para abastecer debidamente la demanda de energía térmica, bien de ACS o de calefacción.

El sistema de apoyo tiene que ser capaz de generar energía térmica independientemente de cuales sean las condiciones atmosféricas exteriores, por lo que generalmente se recurre a métodos convencionales como calderas y calentadores eléctricos o calderas de gas natural y gasoil.

Debido al carácter ecológico y de desarrollo de este proyecto, se propone utilizar un sistema de aporte basado en el uso de biocombustible como alternativa a los combustibles tradicionales.

El sistema de aporte se debe diseñar como si fuese la única fuente de aporte energético, pues habrá ocasiones en las que la radiación del sol será nula en los periodos de demanda de energía térmica.

Por otra parte, y buscando que esta fuente de energía sea complementaria a la energía solar, deberá funcionar solo cuando sea necesario, intentando aprovechar al máximo la energía térmica que se obtiene en los captadores solares.

Como ya se ha mencionado varias veces a lo largo de este documento, el aprovechamiento de la energía solar está enfocado para uso en el sistema de Agua Caliente Sanitaria únicamente, por lo que el sistema tiene un termostato mediante el cual se regula el funcionamiento de la caldera de aporte, de tal manera que cuando la diferencia de temperatura entre la salida del agua en el interacumulador de ACS y la temperatura de entrada del mismo sea mayor de 4 °C, se pondrá en funcionamiento la bomba de ACS anteriormente descrita, la bomba de circulación del sistema de aporte y la propia caldera de aporte.

Debido a que el sistema de ACS es de acumulación y no es instantáneo, la caldera de aporte debe ser tipo calefacción en lugar de tipo mixta (ACS y calefacción). Estas calderas solo calefacción son más económicas que las calderas mixtas y debido a la disposición de los diferentes elementos del sistema es suficiente para dar cobertura a la red de calefacción y a la red de ACS. En el ANEXO I se encuentra detallado el esquema de la instalación.

La caldera de aporte debe tener la potencia suficiente como para suplir la demanda energética de ACS y de calefacción de forma simultánea, por lo que se debe dimensionar correctamente contando con las pérdidas térmicas existentes en la instalación.

Este sistema de aporte energético auxiliar está formado por una aguja hidráulica o también llamada botella de equilibrado hidráulico, una bomba de circulación, vaso de expansión, caldera de aporte y un colector hidráulico.

8.4.1 AGUJA HIDRÁULICA

La aguja hidráulica es un sistema equilibrador del agua que circula por la caldera de aporte. Es necesario para un correcto equilibrio entre el caudal de producción y el caudal de consumo, evitando que no sea necesario que todo el agua de distribución pase por el sistema de generación de energía térmica convencional.

En esta instalación se debe equilibrar el caudal proveniente de la caldera de aporte y que entra en un colector hidráulico con una entrada y tres salidas.

Una de las grandes ventajas de empleo de este elemento es obtener una cierta garantía de buen funcionamiento de la caldera, haciendo que se mantenga un equilibrio térmico entre el agua de aspiración y el agua de impulsión de los tres diferentes circuitos de la instalación estudiada, evitando así que la caldera entre en estado de parada o de modulación antes de lo debido.



Ilustración 37. Sección de aguja hidráulica

La aguja hidráulica consta de un cilindro hueco con dos entradas y dos salidas de agua, además de un purgador en la parte superior y una toma de llenado y otra de vaciado en la parte inferior.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

El dimensionado de este sistema de regulación y equilibrio está ampliamente definido y estandarizado, siguiendo el siguiente esquema:

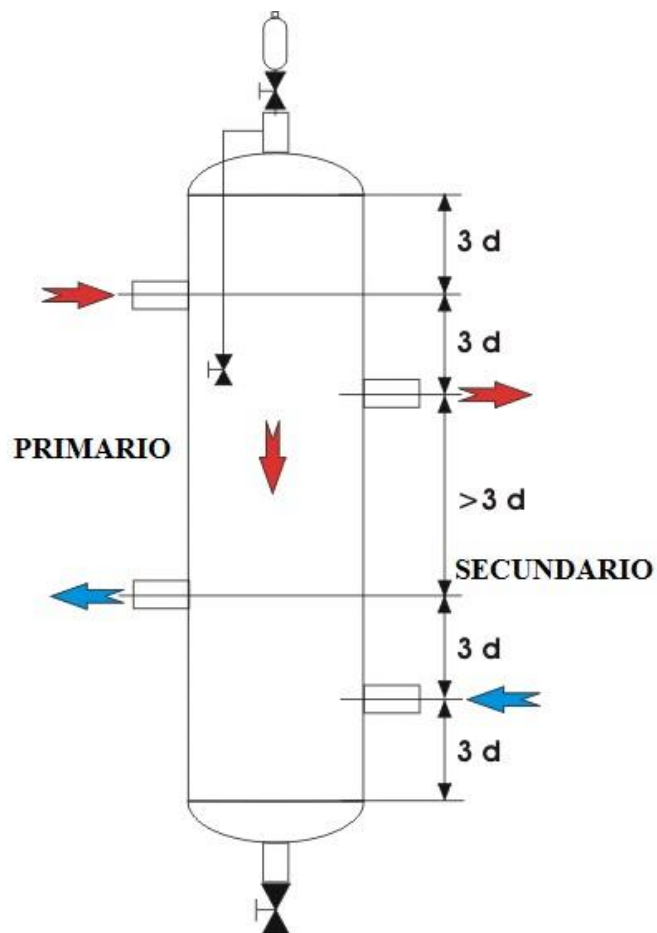


Ilustración 38. Esquema de funcionamiento y dimensionado de una botella de equilibrio hidráulico

Dónde “d” es diámetro de la tubería de entrada a la aguja hidráulica. El diámetro del cilindro es de 3 veces el diámetro nominal de la tubería de entrada a la aguja.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Para la aplicación de este proyecto, se ha seleccionado la aguja hidráulica modelo AC 71 752, comercializada por Salvador Escoda.



Ilustración 39. Separador hidráulico AC 71 752

Este separador hidráulico tiene un diámetro de tubería de 1", por lo que es necesario unos variadores de diámetro para cambiar la sección de paso del agua de la tubería de circulación a la sección de paso del agua del separador.

El diámetro de la tubería necesario en este tramo de la instalación se calcula del mismo modo que el resto de tramos de tubería de la instalación, es decir, utilizando la tabla de pérdidas de carga en tubería de cobre (ANEXO I).

En primer lugar, se calcula el gasto másico de agua que circula por este tramo de tubería, que será la suma del gasto másico del circuito de calefacción más el gasto másico de agua que circula por el intercambiador de aporte del circuito de ACS:

$$\dot{m}_{caldera\ aporte} = \dot{m}_{calefacción} + \dot{m}_{intercambio\ ACS} = 0.234 \text{ kg/s} = 842.4 \text{ L/h}$$

Por tanto, el diámetro interior de este tramo de tubería es de 20 mm, mientras que el diámetro exterior es de 22 mm.

8.4.2 BOMBA SISTEMA DE APOORTE

La bomba de circulación del sistema de aporte se encarga de mover el agua desde la caldera de aporte hasta la aguja hidráulica. La longitud de este tramo de tubería es de 2.41 metros, por lo que, debido a la poca distancia existente entre ambos elementos, esta bomba no suele ser de grandes dimensiones.

Por otra parte, el caudal de agua que debe mover es la suma de los caudales necesarios para el circuito de ACS y para el circuito de calefacción total.

Su dimensionamiento es igual al estudiado anteriormente:

$$W_{bomba\ circulación\ aporte} = \frac{\dot{m}_{caldera\ aporte} \cdot \Delta P_{circuito\ aporte}}{\rho_{agua} \cdot \eta_{bomba\ noche}}$$

Donde:

- $\Delta P_{circuito\ aporte} = 1063\ Pa$
- $\eta_{bomba\ noche} = 0.6$

$$W_{bomba\ circulación\ aporte} = 0.348\ W$$

Para esta aplicación, la bomba elegida es el modelo *STRATOS 25/1-4* de la marca *WILO*

8.4.3 CALDERA DE APORTE

Como ya se ha mencionado anteriormente, la caldera de aporte es un elemento imprescindible para el correcto funcionamiento de la instalación, puesto que es el único elemento de producción de energía térmica para el circuito de calefacción y posibilita que no existan deficiencias de abastecimiento cuando la energía solar no es capaz de suplir toda la energía necesaria para el sistema de Agua Caliente Sanitaria.

El dimensionado de este componente se debe hacer considerando que es la única fuente de energía, por lo que debe hacerse un estudio de pérdidas térmicas en los diferentes componentes de la instalación, así como un estudio de demanda energética.

La potencia necesaria de la caldera de aporte se puede resumir en:

$$Q_{caldera\ aporte} = Q_{ACS} + Q_{calefaccion}$$

Donde:

- $Q_{calefaccion}$ es la potencia térmica necesaria para suplir las cargas térmicas explicadas en el apartado 5.4.

$$Q_{calefacción} = 18.44\ KW$$

- Q_{ACS} es la potencia térmica necesaria para que el sistema de ACS funcione correctamente. En este conjunto se engloba la demanda térmica propia para calentar el agua de red hasta la temperatura de servicio, las pérdidas térmicas en la tubería de distribución, las pérdidas térmicas del acumulador y las pérdidas térmicas del circuito de recirculación.

$$Q_{ACS} = Q_{\acute{u}til\ ACS} + Q_{p\acute{e}rdidas\ acumulad} + Q_{p\acute{e}rdidas\ red\ distribuci\acute{o}n} + Q_{p\acute{e}rdidas\ recirc}$$

- POTENCIA ÚTIL DE ACS:

Como ya se ha visto en el dimensionado del interacumulador, la potencia propia necesaria para calentar el agua es:

$$Q_{\acute{u}til\ ACS} = 1184\ W$$

- PÉRDIDAS TÉRMICAS EN EL ACUMULADOR:

Estas pérdidas, también conocidas como pérdidas por disponibilidad son aquellas que inevitablemente aparecen cuando se almacena agua caliente en un depósito acumulador.

Estas pérdidas térmicas son función de la envolvente térmica del propio acumulador, por tanto, depende de la calidad constructiva del mismo, así como de la geometría y de los materiales de aislamiento empleados.

El fabricante del acumulador elegido indica que tiene un aislamiento de 45 mm y que tiene un factor de pérdidas térmicas por cada grado de diferencia entre la temperatura de ACS y la temperatura exterior $\lambda = 0.4678 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$.

Como el depósito acumulador se sitúa en el cuarto de calderas de la planta baja, cuya temperatura exterior es de 8°C , las pérdidas térmicas en el acumulador:

$$Q_{\text{pérdidas acumulad}} = \lambda_{\text{acumulador}} \cdot (T_{\text{suministro}} - T_{\text{cuarto calderas}}) = 24.396 \text{ W}$$

- PÉRDIDAS TÉRMICAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN:

Las pérdidas térmicas por la red de ACS dependen de la longitud y del diámetro de la tubería, del aislamiento de la red, del caudal y de la temperatura a la que el agua circule por la red.

En este proyecto, la longitud total de la red de ACS es de 45.74 metros. En el ANEXO I está disponible el esquema de instalación donde está señalada a escala el circuito de ACS. Por otro lado, el agua proveniente del interacumulador de ACS se mezcla mediante el empleo de una válvula mezcladora con agua fría sanitaria para bajar la temperatura de suministro hasta los 45°C evitando así posibles riesgos de quemadura en el usuario final.

Como ya se menciona en capítulos anteriores, el gasto másico de ACS es

$$\dot{m}_{\text{ACS}} = 0.781 \text{ Kg/s}$$

Debido a que prácticamente la totalidad del circuito de ACS está formado por tubería de alimentación, a efectos prácticos, se considera que el diámetro interior de la tubería es de 20 mm, mientras que el diámetro exterior es de 22 mm.

A su vez, la tubería está recubierta por un aislante cuyo diámetro interior es de 22 mm, mientras que el diámetro exterior es de 32 mm. Las propiedades térmicas de este aislante se encuentran en el ANEXO I.

Por tanto, el área interior de contacto con el fluido es:

$$A_{intACS} = 2 \cdot \pi \cdot L_{ACS} \cdot \frac{D_{intACS}}{2} = 2.874 \text{ m}^2$$

$$A_{ext.aislante ACS} = 2 \cdot \pi \cdot L_{aislante ACS} \cdot \frac{D_{ext.aislante ACS}}{2} = 3.161 \text{ m}^2$$

La potencia térmica de pérdidas en la tubería de distribución de ACS es:

$$Q_{pérdidas \text{ red distribución}} = UA_{ACS} \cdot (T_{suministro} - T_{interior \text{ en vivienda}})$$

El factor UA de la red de ACS es:

$$UA_{ACS} = \frac{1}{R_{total \text{ tubería ACS}}}$$

Donde la resistencia térmica total de la tubería es:

$$R_{total \text{ tubería ACS}} = R_{convec.int} + R_{tubo.ACS} + R_{aislante.ACS} + R_{convec.ext}$$



Ilustración 40. Esquema resistencias térmicas en tubo aislado

▪ CONVECCIÓN INTERNA

Para el cálculo de la convección interna se emplean las siguientes expresiones:

$$R_{converc.int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_{int ACS}}$$

$$h_{int} = \frac{Nu_{int} \cdot k_{agua}}{D_{int ACS}}$$

Utilizando la correlación de Dittus Boelter:

$$Nu_{int} = 0.023 \cdot Re_{ACS}^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_{ACS}^{0.4}$$

$$Pr_{ACS} = \frac{C_{p.agua} \cdot \mu_{agua}}{k_{agua}}$$

$$Re_{ACS} = \frac{\dot{m}_{ACS}}{\mu_{agua} \cdot \pi \cdot D_{int ACS}}$$

Donde:

- h_{int} : Coeficiente de convección interna [W/m²·K]
- k_{agua} : Conductividad térmica del agua [W/m·K]
- μ_{agua} : Viscosidad dinámica del agua [Pa·s]
- Nu_{int} : Número de Nusselt de flujo interior en tubos
- Re_{ACS} : Número de Reynolds
- Pr_{ACS} : Número de Prandtl
- $C_{p.agua}$: Poder calorífico del agua [J/kg·K]
- ρ_{agua} : Densidad del agua [kg/m³]

Por tanto,

$$Re_{ACS} = 13810$$

$$Pr_{ACS} = 7.098$$

$$Nu_{int} = 103.385$$

$$h_{int} = 2740 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$R_{convec.int} = 1.27 \cdot 10^{-4} K/W$$

- RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN LA TUBERÍA

Se utiliza la expresión general de conducción térmica en tubos concéntricos:

$$R_{tubo.ACS} = \frac{\ln \frac{D_{ext.ACS}}{D_{int.ACS}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_{ACS}}$$

Donde:

- k_{cu} : Conductividad térmica del cobre [W/m·K]

$$R_{tubo.ACS} = 8.609 \cdot 10^{-7} \text{ K/W}$$

- RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN EL AISLANTE

Al igual que en la conducción en la tubería, se utiliza la expresión general de la conducción en elementos tubulares:

$$R_{aislante.ACS} = \frac{\ln \frac{D_{ext.aislante ACS}}{D_{int.aislante ACS}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{aislante} \cdot L_{ACS}}$$

Donde:

- $k_{aislante}$: Conductividad térmica del aislante [W/m·K]

$$R_{aislante.ACS} = 0.034 \text{ K/W}$$

▪ RESISTENCIA TÉRMICA DE CONVECCIÓN EXTERIOR

La red de tuberías discurre por el interior de la vivienda, por lo que la convección exterior será natural. Para el análisis de este tipo de convección se utiliza la correlación de Churchill-Chu.

$$R_{convec.ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot A_{aislante}}$$

$$h_{ext} = \frac{Nu_{ext.aire} \cdot k_{aire}}{D_{ext.aislante}}$$

Utilizando la correlación de Churchill-Chu:

$$Pr_{exterior\ aire} = \frac{C_{p.aire} \cdot \mu_{aire}}{k_{aire}}$$

$$Ra_{exterior.aire} = \frac{g \cdot \beta_{aire} \cdot L_{ACS}^3 \cdot (T_{ACS} - T_{int})}{\nu_{aire} \cdot \alpha_{ACS}}$$

$$\beta_{aire} = \frac{1}{T_{int}}$$

$$Nu_{ext\ aire} = \left\{ 0.6 + \frac{\left(0.387 \cdot Ra_{exterior.aire}^{\frac{1}{6}} \right)}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr_{exterior\ aire}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Donde:

- h_{ext} : Coeficiente de convección externa [$W/m^2 \cdot K$]
- k_{aire} : Conductividad térmica del aire [$W/m \cdot K$]
- μ_{aire} : Viscosidad dinámica del aire [$Pa \cdot s$]
- $Nu_{ext\ aire}$: Número de Nusselt de flujo exterior del aislante
- $Ra_{ext\ aire}$: Número de Rayleigh
- $Pr_{ext\ aire}$: Número de Prandtl
- $C_{p,aire}$: Poder calorífico del aire [$J/kg \cdot K$]
- ρ_{aire} : Densidad del aire [kg/m^3]
- g : Aceleración de la gravedad [m/s^2]
- β_{aire} : Coeficiente de expansión térmica del aire [$1/K$]
- ν_{aire} : Viscosidad cinemática del aire [m^2/s]
- α_{aire} : Difusividad térmica del aire [m^2/s]

Por tanto,

$$Ra_{exterior.aire} = 2.221 \cdot 10^{14}$$

$$Pr_{exterior.aire} = 0.746$$

$$Nu_{exterior.aire} = 6.394 \cdot 10^3$$

$$h_{ext} = 3.355 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{convec.ext} = 0.065 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica total de la tubería es:

$$R_{total\ tubería} = R_{convec.int} + R_{tubo.ACS} + R_{aislante.ACS} + R_{convec.ext} = 0.099 \frac{K}{W}$$

El factor UA de la tubería:

$$UA_{ACS} = \frac{1}{R_{total\ tubería}} = 10.075 \frac{W}{K}$$

Finalmente, la potencia térmica de pérdidas en la tubería de distribución de ACS es:

$$Q_{pérdidas\ red\ distribución} = UA_{ACS} \cdot (T_{suministro} - T_{interior\ en\ vivienda}) = 233.24 \text{ W}$$

- PÉRDIDAS TÉRMICAS EN LA RED DE RECIRCULACIÓN:

Al igual que en el caso anterior, las pérdidas térmicas por la red de recirculación de ACS dependen de la longitud y del diámetro de la tubería, del aislamiento de la red, del caudal y de la temperatura a la que el agua circule por la red.

La longitud de la red de recirculación de ACS es de 70.81 metros, ya que, a la longitud de la red de ACS, se le suma la tubería de recirculación. La temperatura del agua es la misma que la temperatura de suministro en la red de ACS después de la mezcla: 45°C

Como ya se menciona en capítulos anteriores, el gasto másico de recirculación es:

$$\dot{m}_{recirculación} = 0.0781 \text{ Kg/s}$$

Mientras que el diámetro interior de la tubería de recirculación es 20 mm y el diámetro exterior 22 mm.

A su vez, la tubería está recubierta por un aislante cuyo diámetro interior es de 22 mm, mientras que el diámetro exterior es de 32 mm. Las propiedades térmicas de este aislante se encuentran en el ANEXO I.

Por tanto, el área interior de contacto con el fluido es:

$$A_{int \text{ recirc}} = \pi \cdot L_{recirc} \cdot D_{int \text{ recirc}} = 4.449 \text{ m}^2$$

$$A_{ext.aislante \text{ recirc}} = \pi \cdot L_{aislante \text{ recirc}} \cdot D_{ext.aislante \text{ recirc}} = 4.894 \text{ m}^2$$

La potencia térmica de pérdidas en la tubería de distribución de ACS es:

$$Q_{pérdidas \text{ red recirculación}} = UA_{recirc} \cdot (T_{suministro} - T_{interior \text{ en vivienda}})$$

El factor UA de la red de ACS es:

$$UA_{recirc} = \frac{1}{R_{total \text{ tubería recirc}}}$$

Donde la resistencia térmica total de la tubería es:

$$R_{total\ tubería\ recirc} = R_{convec.int} + R_{tubo.recirc} + R_{aislante.recirc} + R_{convec.ext}$$

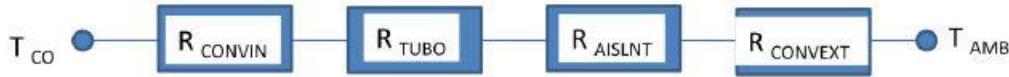


Ilustración 41. Esquema resistencias térmicas en tubo aislado

▪ CONVECCIÓN INTERNA

Para el cálculo de la convección interna se emplean las siguientes expresiones:

$$R_{convec.int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_{int\ recirc}}$$

$$h_{int} = \frac{Nu_{int} \cdot k_{agua}}{D_{int\ ACS}}$$

Utilizando la correlación de Dittus Boelter:

$$Nu_{int} = 0.023 \cdot Re_{ACS}^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_{recirc}^{0.4}$$

$$Pr_{recirc} = \frac{C_{p.agua} \cdot \mu_{agua}}{k_{agua}}$$

$$Re_{recirc} = \frac{\dot{m}_{recirc}}{\mu_{agua} \cdot \pi \cdot D_{int\ recirc}}$$

Donde:

- h_{int} : Coeficiente de convección interna [W/m²·K]
- k_{agua} : Conductividad térmica del agua [W/m·K]
- μ_{agua} : Viscosidad dinámica del agua [Pa·s]
- Nu_{int} : Número de Nusselt de flujo interior en tubos
- Re_{recirc} : Número de Reynolds
- Pr_{recirc} : Número de Prandtl
- $C_{p.agua}$: Poder calorífico del agua [J/kg·K]
- ρ_{agua} : Densidad del agua [kg/m³]

Por tanto,

$$Re_{recirc} = 13810$$

$$Pr_{recirc} = 7.098$$

$$Nu_{int} = 18990$$

$$h_{int} = 5.032 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_{convec.int} = 4.467 \cdot 10^{-7} \text{ K/W}$$

▪ RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN LA TUBERÍA

Se utiliza la expresión general de conducción térmica en tubos concéntricos:

$$R_{tubo.recirc} = \frac{\ln \frac{D_{ext.recirc}}{D_{int.recirc}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_{recirc}}$$

Donde:

- k_{cu} : Conductividad térmica del cobre [W/m·K]

$$R_{tubo.ACS} = 5.561 \cdot 10^{-7} \text{ K/W}$$

▪ RESISTENCIA TÉRMICA DE CONDUCCIÓN EN EL AISLANTE

Al igual que en la conducción en la tubería, se utiliza la expresión general de la conducción en elementos tubulares:

$$R_{aislante.ACS} = \frac{\ln \frac{D_{ext.aislante recirc}}{D_{int.aislante recirc}}}{2 \cdot \pi \cdot k_{aislante} \cdot L_{recirc}}$$

Donde:

- $k_{aislante}$: Conductividad térmica del aislante [W/m·K]

$$R_{aislante.ACS} = 0.026 \text{ K/W}$$

- RESISTENCIA TÉRMICA DE CONVECCIÓN EXTERIOR

La red de tuberías discurre por el interior de la vivienda, por lo que la convección exterior será natural. Para el análisis de este tipo de convección se utiliza la correlación de Churchill-Chu.

$$R_{convec.ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot A_{aislante}}$$

$$h_{ext} = \frac{Nu_{ext.aire} \cdot k_{aire}}{D_{ext.aislante}}$$

Utilizando la correlación de Churchill-Chu:

$$Pr_{exterior\ aire} = \frac{C_{p.aire} \cdot \mu_{aire}}{k_{aire}}$$

$$Ra_{exterior.aire} = \frac{g \cdot \beta_{aire} \cdot L_{recirc}^3 \cdot (T_{recirc} - T_{int})}{\nu_{aire} \cdot \alpha_{recirc}}$$

$$\beta_{aire} = \frac{1}{T_{int}}$$

$$Nu_{ext\ aire} = \left\{ 0.6 + \frac{\left(0.387 \cdot Ra_{exterior.aire}^{\frac{1}{6}} \right)^{\frac{8}{27}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr_{exterior\ aire}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Donde:

- h_{ext} : Coeficiente de convección externa [$W/m^2 \cdot K$]
- k_{aire} : Conductividad térmica del aire [$W/m \cdot K$]
- μ_{aire} : Viscosidad dinámica del aire [$Pa \cdot s$]
- $Nu_{ext\ aire}$: Número de Nusselt de flujo exterior del aislante
- $Ra_{ext\ aire}$: Número de Rayleigh
- $Pr_{ext\ aire}$: Número de Prandtl
- $C_{p,aire}$: Poder calorífico del aire [$J/kg \cdot K$]
- ρ_{aire} : Densidad del aire [kg/m^3]
- g : Aceleración de la gravedad [m/s^2]
- β_{aire} : Coeficiente de expansión térmica del aire [$1/K$]
- ν_{aire} : Viscosidad cinemática del aire [m^2/s]
- α_{recirc} : Difusividad térmica del agua [m^2/s]

Por tanto,

$$Ra_{exterior.aire} = 8.241 \cdot 10^{14}$$

$$Pr_{exterior.aire} = 0.746$$

$$Nu_{exterior.aire} = 9.87 \cdot 10^3$$

$$h_{ext} = 3.345 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{convec.ext} = 0.061 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica total de la tubería es:

$$R_{total\ tubería} = R_{convec.int} + R_{tubo.recirc} + R_{aislante.recirc} + R_{convec.ext} = 0.087 \frac{K}{W}$$

El factor UA de la tubería:

$$UA_{recirculacion} = \frac{1}{R_{total\ tubería}} = 11.466 \frac{W}{K}$$

Finalmente, la potencia térmica de pérdidas en la tubería de distribución de ACS es:

$$Q_{pérdidas\ red\ recirculación} = UA_{recirculacion} \cdot (T_{suministro} - T_{interior\ en\ vivienda}) = 265.44 \text{ W}$$

Por tanto, la carga térmica que supone la instalación de ACS es:

$$Q_{ACS} = Q_{\text{útil ACS}} + Q_{\text{pérdidas acumulad}} + Q_{\text{pérdidas red distribución}} + Q_{\text{pérdidas recirc}}$$

$$Q_{ACS} = 1.707 \text{ KW}$$

Recordando la carga térmica que supone el sistema de calefacción:

$$Q_{\text{calefacción}} = 18.44 \text{ KW}$$

Finalmente, la potencia mínima total que debe tener la caldera de aporte para funcionar correctamente es:

$$Q_{\text{caldera aporte}} = Q_{ACS} + Q_{\text{calefaccion}} = 20.15 \text{ KW}$$

Como se menciona en capítulos anteriores, la caldera de aporte elegida es una caldera que utiliza biomasa como combustible. La oferta existente en el mercado actualmente hace que se elija una caldera de pellets.

Se selecciona el modelo *NATURFIRE HR 25* de la marca *FÉRROLI*, la cual cuenta con una potencia nominal de 23.3 KW y un rendimiento del 94.5%, con un contenedor de pellet integrado que dispone de una capacidad de almacenaje de 48 Kg.



Ilustración 42. Caldera de pellets NATURFIRE HR 25 de la marca FÉRROLI

8.4.4 VASO DE EXPANSIÓN SISTEMA DE APORTE

Al igual que el resto de vasos de expansión colocados por toda la instalación, el vaso de expansión del sistema de aporte es un elemento de seguridad que se encarga de proteger la integridad ante el peligro de sobrepresión por la dilatación térmica del agua de las tuberías, juntas, radiadores y demás elementos del circuito de calefacción, así como del circuito de intercambio primario de ACS.

El método de cálculo de este elemento es el mismo que se ha descrito en apartados anteriores.

$$Vol_{vaso\ aporte} = (Vol_{interc\ ACS} + Vol_{circuito\ calefacción} + Vol_{caldera} + Vol_{circ\ aporte}) \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- $Vol_{circuito\ intercambio\ ACS}$: Volumen de fluido que ocupa la tubería del circuito de intercambio de ACS y el intercambiador situado dentro del interacumulador de ACS. Se aplica un factor de seguridad que sobredimensiona el volumen en un 20%

$$Vol_{circuito\ ACS} = 1.2 \cdot (Vol_{tubo\ intercambio\ primario\ ACS} + Vol_{serpentin\ ACS})$$

- $Vol_{circuito\ calefacción}$: Volumen de agua que ocupa toda la instalación de calefacción, contando con la tubería de distribución y los radiadores. Al igual que en el caso anterior, se aplica un factor de seguridad que sobredimensiona el volumen en un 20%.

$$Vol_{circuito\ calefacción} = 1.2 \cdot (Vol_{red\ calefacción} + Vol_{radiadores})$$

- $Vol_{caldera}$: Volumen de agua que reside en la caldera de aporte. El fabricante indica que este volumen es de 20 litros.
- $Vol_{circ\ aporte}$: Volumen de agua en el tramo de tubería que une la caldera de aporte con el colector hidráulico.

- C_e : Coeficiente de dilatación (NORMA UNE 100.155). Es función del porcentaje de propilenglicol en la disolución del fluido caloportador y la temperatura que alcanza el mismo. En este caso, $C_e = 0.08$

- C_p : Coeficiente de presión. Depende de la presión inicial y final del vaso de expansión cuando actúa. En este caso la presión final (de uso) es de 3.5 bar, mientras que la presión inicial es de 1.5 bar.

$$C_p = \frac{P_f}{P_f - P_i} = 1.75$$

En primer lugar, se calcula el volumen de agua que ocupa el circuito de intercambio primario de ACS.

$$Vol_{intercACS} = 1.2 \cdot \left[L_{intercambio ACS} \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{interior intercambio ACS}}{2} \right]^2 + Vol_{serpentin ACS} \right]$$

$$Vol_{intercACS} = 3.661 \text{ Litros}$$

Se calcula el volumen de agua que reside en la tubería que conecta la caldera de aporte y la aguja hidráulica:

$$Vol_{circ aporte} = 1.2 \cdot L_{circulacion aporte} \cdot \pi \cdot \left[\frac{D_{interior circulacion aporte}}{2} \right]^2 = 0.909 \text{ Litros}$$

Por último, se calcula el volumen de agua del circuito de calefacción:

$$Vol_{circuito calefacción} = 1.2 \cdot (Vol_{tuberia calefacción} + Vol_{radiadores})$$

Donde:

- $Vol_{tuberia calefacción} = 15.821 \text{ Litros}$
- $Vol_{radiadores} = N_{elementos} \cdot Vol_{unitario radiadores} = 196 \cdot 0.39 \text{ Litros} = 76.44 \text{ L}$

Por lo que,

$$Vol_{circuito calefacción} = 110.71 \text{ Litros}$$

Finalmente, el volumen mínimo necesario para el vaso de expansión del circuito de aporte es:

$$Vol_{vaso\ aport} = (Vol_{interc\ ACS} + Vol_{circuito\ calefacción} + Vol_{caldera} + Vol_{circ\ aporte}) \cdot C_e \cdot C_p$$
$$Vol_{vaso\ aport} = 18.94 \text{ Litros}$$

El vaso de expansión elegido es el modelo 25 CMF de Salvador Escoda con capacidad de 25 litros.



Ilustración 43. Vaso de expansión 25 CMF

9. PLAN DE MANTENIMIENTO

El Código Técnico de la Edificación establece que todo sistema de energía térmica solar necesita un plan de mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación.

En cuanto al circuito solar se refiere, el CTE establece dos planes de actuación en la tarea de mantenimiento:

- Plan de vigilancia:

Este plan está referido a las operaciones que se deben realizar para asegurar que se cumplan las condiciones de funcionamiento diseñadas. Estas operaciones se limitan a la observación de los parámetros funcionales principales y a la limpieza de los elementos del sistema.

El CTE recoge las actuaciones necesarias en la siguiente tabla:

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
CIRCUITO SECUNDARIO	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

IV: inspección visual

Tabla 46. Plan de vigilancia (CTE)

De forma adicional, se vigilará durante todo el año la instalación con el fin de prevenir posibles daños por sobrecalentamientos

- Plan de mantenimiento preventivo:

En este plan están contempladas las operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros que, aplicados a la instalación, permitan mantener las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación, en valores aceptables.

Por tanto, se debe realizar al menos una inspección anual de la instalación solar por parte de personal técnico cualificado. Así mismo, la instalación debe contar con un libro de mantenimiento donde se recojan todas las actuaciones realizadas en la misma.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

A continuación, se muestran detalladamente las actuaciones de mantenimiento preventivo que establece el CTE:

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original
Cristales	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
Juntas	6	IV condensaciones y suciedad
Absorbedor	6	IV agrietamientos, deformaciones
Carcasa	6	IV corrosión, deformaciones
Conexiones	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Estructura	6	IV aparición de fugas
Captadores*	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de <i>captadores</i>

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.2.2 párrafo 2.
IV: inspección visual

Tabla 47. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de captación I (CTE)

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación de desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

IV: inspección visual

Tabla 48. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de acumulación (CTE)

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

CF: control de funcionamiento

Tabla 49. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de intercambio (CTE)

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

IV: inspección visual

CF: control de funcionamiento

Tabla 50. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de captación II (CTE)

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 51. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico y de control (CTE)

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 52. Plan de actuaciones de mantenimiento preventivo en sistema de aporte (CTE)

En caso de que, durante las tareas de mantenimiento, se observase cualquier tipo de fallo o anomalía, se deberán llevar a cabo las correspondientes actuaciones correctiva.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Por otra parte, en lo que a la caldera de aporte se refiere, el fabricante indica que se deben realizar las siguientes tareas de mantenimiento ordinario por parte del usuario:

- Limpieza de la superficie de los intercambiadores de la caldera mediante el accionamiento de limpieza que está integrada en la caldera. Periodicidad: mínimo de una vez semanal.
- Retirar los restos de la combustión del pellet que se acumula en el cajón de cenizas. Periodicidad: semanal.
- Retirar los restos de combustible sólido que se incrusta en el quemador. Periodicidad: según condiciones.

Además, es de obligatorio cumplimiento realizar una revisión anual por parte del Servicio Técnico competente que garantice el correcto funcionamiento de la caldera, realizando también, una limpieza extraordinaria de la misma:

- Limpieza del haz de tubos de la cámara térmica.
- Limpieza del colector de humos.
- Limpieza de las juntas de la puerta de la cámara y del cenicero.
- Limpieza de la chimenea y del tubo de humos.
- Revisión de la capacidad de tiro de la chimenea.
- Análisis de combustión.

10. IMPACTO AMBIENTAL

Entre los objetivos de este proyecto de energía solar térmica se encuentra apoyar y ayudar a reducir el impacto medioambiental que conllevan las instalaciones convencionales de calefacción y ACS.

Este impacto medioambiental se traduce en la emisión de gases fruto de la combustión de las fuentes primarias de energía tradicionales como pueden ser gas, gasoil, leña, carbón...

Los gases nocivos generados que perjudican gravemente al medioambiente son los denominados gases de efecto invernadero, entre el que más peso tiene es el CO_2 , y otros gases como pueden ser el CO (monóxido de carbono), los NO_x (óxidos de nitrógeno), o los SO_x (óxidos de azufre).

En este proyecto se ha optado por hacer una instalación lo más sostenible posible, diseñando un sistema de energía solar con aplicación de ACS y empleando una caldera de pellets de alta eficiencia con aplicación de calefacción y ACS.

Por tanto, resulta interesante comparar las emisiones de gases nocivos a la atmósfera en el caso de utilizar una caldera convencional respecto de la instalación diseñada, calculando así el ahorro energético y el ahorro de emisiones.

La comparación se realiza entre la instalación diseñada, formada por caldera de pellets, sistema de captación solar y grupos de bombeo; y una instalación ficticia formada por caldera convencional de gasoil y grupo de bombas.

Para llevar a cabo este estudio, es importante establecer una equivalencia entre kWh consumido y kg de contaminante generado.

En primer lugar, es preciso conocer esta relación según el tipo de combustible utilizado y el contaminante generado.

Si bien es cierto que, en muchas ocasiones y por simplicidad de las operaciones, se asume que todo el CO_2 que se emite durante la combustión de la biomasa ha sido retirado de la atmósfera durante el proceso de crecimiento de los vegetales que forman la biomasa, haciendo que la contribución de CO_2 final sea neutra; esto no es del todo cierto.

Debido a las emisiones de CO_2 durante el proceso de fabricación y transformación de la biomasa, la contribución total final no es neutra, sino que adquiere un valor estimado.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

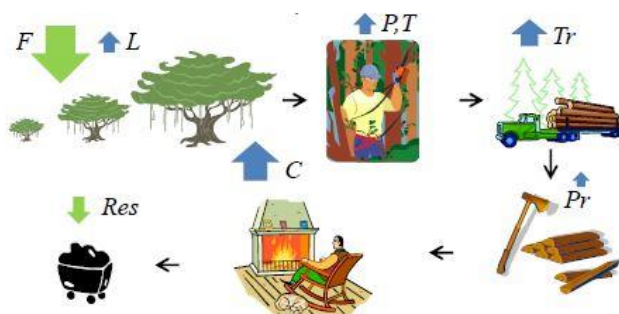


Ilustración 44. Esquema gráfico de emisiones de la biomasa

Emisión de gases según tecnología				
kg/kWh _{térmico}	Pellet	Diésel	Gas natural	Carbón
CO ₂	0.018	0.269	0.22	0.402
CO	$2.57 \cdot 10^{-3}$	$7.73 \cdot 10^{-3}$	$4.47 \cdot 10^{-5}$	$5.54 \cdot 10^{-4}$
NO _x	$5.58 \cdot 10^{-4}$	$3.02 \cdot 10^{-3}$	$2.79 \cdot 10^{-6}$	$2.52 \cdot 10^{-9}$
SO _x	$1.872 \cdot 10^{-5}$	$6.60 \cdot 10^{-4}$	0	$1.2 \cdot 10^{-2}$

Tabla 53. Emisiones de diferentes gases contaminantes por cada kWh térmico producido.

En la *Tabla 46*. Se expresan los valores de emisión de contaminantes por cada kWh térmico producido. Esta tabla es válida para estudiar la cantidad de emisiones producidas por la caldera de aporte, pero para estudiar las emisiones que se genera por el uso de aparatos eléctricos, como las bombas, es necesario aplicar una corrección basada en el rendimiento de generación de la energía eléctrica en las centrales térmicas de producción.

Suponiendo que la electricidad está producida por plantas de fuel y carbón, cuyo rendimiento es del 30% y por plantas de ciclo combinado cuyo rendimiento ronda el 50%. No existe información sobre generación de energía eléctrica en centrales utilizando pellets.

Emisión de gases según central de producción			
kg/kWh _{eléctrico}	Diésel	Gas natural	Carbón
CO ₂	0.9	0.42	1.33
CO	$2.57 \cdot 10^{-2}$	$8.94 \cdot 10^{-5}$	$1.84 \cdot 10^{-3}$
NO _x	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$5.58 \cdot 10^{-6}$	$8.4 \cdot 10^{-9}$
SO _x	$2.2 \cdot 10^{-3}$	0	$4 \cdot 10^{-2}$

Tabla 54. Emisiones de diferentes gases contaminantes por cada kWh térmico producido según el tipo de central de producción

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Utilizando como fuente la *Red Eléctrica Española* (REE), la cobertura de la demanda energética eléctrica en el año 2015 fue:

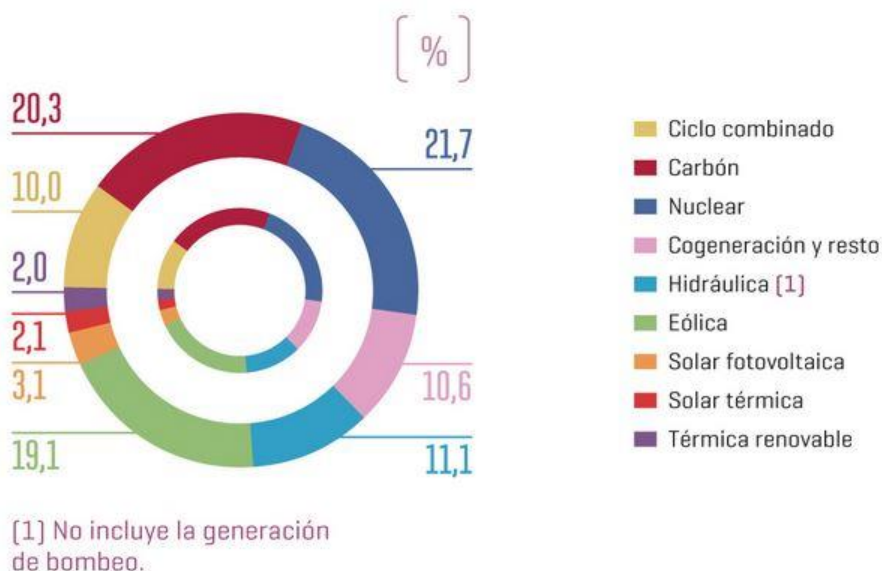


Ilustración 45. Cobertura de demanda eléctrica en España año 2015 (REE).

Por lo que, considerando este porcentaje de producción, en el que se considera que solo se emiten las sustancias contaminantes estudiadas en las centrales de ciclo combinado, carbón y cogeneración, se puede calcular un valor medio de emisiones de los diferentes contaminantes:

Contaminante	kg/kWh _{eléctrico}
CO ₂	0.407
CO	$3.1 \cdot 10^{-3}$
NO _x	$1.1 \cdot 10^{-3}$
SO _x	$8.34 \cdot 10^{-3}$

Tabla 55. Valores medios de emisión de contaminantes por kWh eléctrico producido

Una vez conocidos todos los datos de emisión de contaminantes por kWh, se determina cual es el consumo de energía en un año, primero de la instalación diseñada, y después de una instalación convencional ficticia que funciona con una caldera de gasoil de igual potencia a la instalación diseñada.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

- CONSUMO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN DISEÑADA.

Se supone que la caldera y el conjunto de bombas de ACS funcionan una media de 11 horas diarias y las de calefacción solo se cuentan las horas operativas de invierno y que el sistema de captación funciona durante las horas de sol (cálculo ya descrito en capítulos anteriores).

Por un lado, existe un consumo de energía eléctrico por parte de las bombas. Este consumo, aunque sea pequeño, se considera y está relacionado con la emisión de contaminantes en las plantas de producción de energía eléctrica.

Por otro lado, la propia caldera de pellets de 20.15 kW conlleva unas emisiones de sustancias dañinas debido al proceso de generación de energía térmica. Estas emisiones están relacionadas con las emisiones propias de la combustión de los pellets.

Aparato	POTENCIA [kW]	HORAS anuales	ENERGIA CONSUMIDA [kWh]	EMISIONES CO ₂ [kg]	EMISIONES CO [kg]	EMISIONES NO _x [kg]	EMISIONES SO _x [kg]
Bomba solar	0.000249	4015	0.9997	0.4069	0.0310	0.0011	0.0084
Bomba ACS	0.000023	4015	0.0923	0.0376	0.0029	0.0001	0.0008
Bomba recirculación ACS	0.002278	4015	9.1462	3.7225	0.2835	0.0101	0.0771
Bomba DIA	0.00298	2310	6.884	2.802	0.2134	0.0076	0.058
Bomba NOCHE	0.003103	2310	7.168	2.917	0.222	0.0079	0.06
Bomba circuladora primario	0.000348	4015	1.3972	0.5687	0.0433	0.0015	0.0118
CALDERA PELLET	20.15	4015	89891.389	1618.045	231.021	50.159	1.683
E. SOLAR	-6.146	3866,47	-23763.3369	-427.7401	-7.6993	-0.1386	-0.0025
TOTAL			66153.739	1200.76	224.11	50.049	1.896

Tabla 56. Consumos y emisiones de la instalación proyectada

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

- CONSUMO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN CONVENCIONAL FICTICIA.

Igualmente, se considera que las bombas y la caldera funcionan 11 horas al día. En este caso, se debe eliminar la actuación de la bomba del sistema de captación solar, así como el aporte de energía del propio sistema de energía solar. Además, hay que adecuar las emisiones de la combustión del diésel respecto a los valores de la combustión del pellet utilizados en el caso anterior.

Aparato	POTENCIA [kW]	HORAS anuales	ENERGIA [kWh]	EMISIONES CO ₂ [kg]	EMISIONES CO [kg]	EMISIONES NO _x [kg]	EMISIONES SO _x [kg]
Bomba ACS	0.000023	4015	0.0923	0.0376	0.0029	0.0001	0.0008
Bomba recirculación ACS	0.002278	4015	9.1462	3.7225	0.2835	0.0101	0.0771
Bomba DIA	0.00298	2310	6.884	2.802	0.2134	0.0076	0.058
Bomba NOCHE	0.003103	2310	7.168	2.917	0.222	0.0079	0.06
Bomba circuladora primario	0.000348	4015	1.3972	0.5687	0.0433	0.0015	0.0118
CALDERA GASOIL	20.15	4015	89891.389	24180.784	656.207	271.472	59.328
TOTAL			89916,08	24190,83	656,97	271,50	59,54

Tabla 57. Consumos y emisiones de la instalación convencional ficticia

En términos de energía, la instalación proyectada supone un ahorro de 23762.33 kWh, debido al empleo de la instalación de energía térmica solar. Mientras que, en términos de impacto ambiental, la instalación diseñada implica un ahorro de 22.99 Tn anuales de CO₂, 432.85 kg anuales de CO, 221.45 kg anuales de NO_x y 57.64 kg anuales de SO_x.

11. ESTUDIO ECONÓMICO

Otro de los objetivos de este proyecto es realizar un análisis económico y de viabilidad del mismo, defendiendo así la rentabilidad del mismo.

En primer lugar, se realiza un cálculo de inversión inicial con un presupuesto de instalación al que, posteriormente se descontará el ahorro económico respecto al ahorro de combustible debido al uso de la energía solar y a la biomasa, haciendo un balance similar al realizado en el capítulo anterior.

Concepto	Cantidad	Precio unitario [€/ud]	Precio total [€]
Sistema de captación			
Colector Excellence FKT-2 W JUNKERS	2	844	1688
Gancho soporte FKA 9-2	2	62	124
Kit estructura metálica superficies inclinadas A H3-2T	1	142	142
Kit conexiones hidráulicas FS 19-2 JUNKERS	1	143	143
Purgador automático ELT 6 JUNKERS	1	75	75
Válvula de seguridad VS 6 JUNKERS	1	40	40
Bidon 10 L Propilenglicol	1	40	40
Centralita solar DELTA UNIT cool FÉRROLI	1	355	355
Válvula de esfera 1"	2	9,81	19,62
Sistema de interacumulación			
Interacumulador INOXUNIT/ES 300-P FÉRROLI	1	2435	2435
Interacumulador INOXUNIT/ES 80-P FÉRROLI	1	955	955
Ánodo de protección catódica INOXUNIT 300	1	410	410
Ánodo de protección catódica INOXUNIT 80	1	410	410
Sistema de bombeo			
Bomba Stratos 25/1-4 WILO	6	743	4458
Sistema de calefacción			
Elemento Radiador XIAN 600 N FÉRROLI	196	15,67	3071,32
Detentor 1/2" escuadra	10	7	70
Detentor 1/2" recto	8	7	56
Válvula termostática simple reglaje 1/2" escuadra	8	9	72
Válvula termostática simple reglaje 1/2" recta	10	9	90

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Sistema de aporte			
Caldera de Pellets NATURFIRE HR 25 FÉRROLI	1	4185	4185
Colector hidráulico 1-1/2" 3 vías AC 74 096	1	309,4	309,4
Separador hidráulico 1" AC 71 752	1	377,03	377,03
Contenedor pellet 225 kg	1	735	735
Sistema ACS			
Kit válvula mezcladora	1	105	105
Vasos de expansión			
Vaso de expansión 2 SMF	1	14,36	14,36
Vaso de expansión 40 ACS	1	148,06	148,06
Vaso de expansión 18 CMR	1	44,59	44,59
Vaso de expansión 25 CMF	1	43,88	43,88
Sistema de distribución			
Válvula de esfera 1"	20	9,81	196,2
Tubería de cobre 8-10 mm	80	4,5	360
Tubería de cobre 10-12 mm	55	4,5	247,5
Tubería de cobre 12-14 mm	25	4,5	112,5
Tubería de cobre 14-16 mm	15	4,5	67,5
Tubería de cobre 16-18 mm	25	4,5	112,5
Tubería de cobre 20-22 mm	75	4,5	337,5
Codo 90º 8-10 mm	26	3,03	78,78
Codo 90º 10-12 mm	18	1,58	28,44
Codo 90º 12-14 mm	10	0,53	5,3
Codo 90º 14-16 mm	10	0,59	5,9
Codo 90º 16-18 mm	12	0,71	8,52
Codo 90º 20-22 mm	26	1,07	27,82
Te 20-22	3	2,44	7,32
Aislante K-Flex ST 10-30 mm	3	3,54	10,62
Aislante K-Flex ST 12-32 mm	20	3,89	77,8
Aislante K-Flex ST 22-32 mm	74	1,55	114,7
SUBTOTAL			22218,96
Ingeniería y obra (10% del subtotal)			2221,896
I.V.A. (21% del Subtotal)			4665,98
TOTAL			29106,84
Subvención solar			-5352
Subvención biomasa			-10750
PRESUPUESTO TOTAL			13004,84

Tabla 58. Presupuesto del proyecto

Mediante la Orden INN/28/20166, 11 de julio del Boletín Oficial de Cantabria número 139, por la que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones a actuaciones de energías renovables y ahorro y eficiencia energética en Cantabria, como la mencionada en este proyecto.

Formarán parte de las partidas elegibles el coste de los equipos e instalaciones que forman parte del sistema: captadores solares térmicos, acumuladores, intercambiadores de calor, bombas de circulación, tuberías, válvulas y conexiones, vasos de expansión, aislamientos, sistema eléctrico y de control, equipos de medida y demás equipos secundarios, así como el montaje y conexionado del conjunto, obra civil asociada y puesta en marcha.

La cuantía máxima de subvención que se ofrece en una instalación solar de menos de 20 m² de área de captación colocada es de 1200 €/m².

Por otro lado, la producción de energía térmica para uso doméstico utilizando como combustible biomasa tiene una subvención en función del tipo de la instalación.

La cuantía máxima de subvención que se ofrece en la instalación de caldera tipo D.1 con un rango de potencia de los 20kW hasta los 50kW es de 500 €/kW. El tipo D.1 incluye calderas automáticas con un rendimiento mínimo del 85% mantenido a carga nominal y del 30% a carga parcial y que además posean un depósito de uso exclusivo para el almacenamiento de biocombustible de al menos 1 m³ de capacidad.

Conocida la inversión inicial, se realiza un estudio de viabilidad económica para determinar la rentabilidad de la instalación, calculando el tiempo necesario para amortizar el precio de la instalación debido al ahorro en consumo de combustible obtenido y comparar dicho tiempo con la vida útil de la instalación.

El parámetro que determina la rentabilidad de la inversión es el Valor Actual Neto (VAN):

$$VAN_n = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i}$$

Donde:

- I_0 : Inversión inicial
- CF_i : Cash Flow, o flujos de caja de cada año i .
- k : Tasa de descuento.

Los flujos de caja vienen determinados por el ahorro económico que supone la instalación. La tasa de descuento seleccionada es del 5%, como valor del capital actual de un fondo de inversión.

- PRECIO VARIABLE DE LA INSTALACIÓN PROYECTADA

La parte variable del presupuesto está compuesto por el coste del combustible utilizado por la caldera de pellets, la electricidad consumida y el gasto que conlleva el mantenimiento de la instalación.

El cálculo del mantenimiento de la instalación se hace en base al presupuesto que facilita el Servicio Técnico Oficial de *FÉRROLI* en Cantabria:

- Mantenimiento de la instalación: 120.5 €/año.

Para conocer el consumo de combustible necesario para el funcionamiento de la instalación es necesario obtener el poder calorífico del pellet. Este valor varía en función de la calidad del combustible, así como de su proceso de fabricación. Como valor medio se puede tomar una estimación de 5.53 kWh/kg.

Por otro lado, el uso de este combustible implica un ahorro en el precio unitario puesto que actualmente se puede encontrar en el mercado a un precio de 0.246 €/kg. Por tanto, se calcula el precio anual de combustible:

- Combustible utilizado: 4228.16 €/año.

Aunque las bombas no son de gran tamaño, se calcula el precio anual que supone el uso de las mismas. Según la Red Eléctrica Española (REE), el precio de la electricidad se sitúa en un valor de 0.141 €/kWh, por lo que el gasto monetario anual es:

- Electricidad consumida: 3.62 €/año.

En total, el **gasto variable** de la instalación diseñada es de **4231.783 €/año**.

- PRECIO VARIABLE DE LA INSTALACIÓN FICTICIA

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta instalación ficticia sirve para comparar el estado de la vivienda anterior a la proyección de la instalación diseñada.

Al igual que en el caso proyectado, el mantenimiento de la instalación por parte del Servicio Técnico Oficial supone un gasto de:

- Mantenimiento: 120.5 €/año.

La caldera de este caso funciona con gasóleo, cuyo poder calorífico es de 9.98 kWh/litro y en el mercado está a un precio de 0.91 €/litro. Por lo que el precio anual de combustible es:

- Combustible utilizado: 8196.51 €/año.

Al utilizar una bomba menos que el sistema proyectado, siguiendo los mismos parámetros que en el caso anterior:

- Electricidad consumida: 3.48 €/año.

En total, el **gasto variable** de la instalación ficticia es de **8199.99 €/año**.

Por tanto, el **ahorro económico anual** es de **3968.21 €/año**.

Suponiendo una vida útil de la instalación de 18 años, el ahorro económico obtenido durante este tiempo es de 69258.78 €.

El Valor Anual Neto (VAN) durante los 15 años de vida útil estimada de la instalación:

$$VAN_n = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i}$$

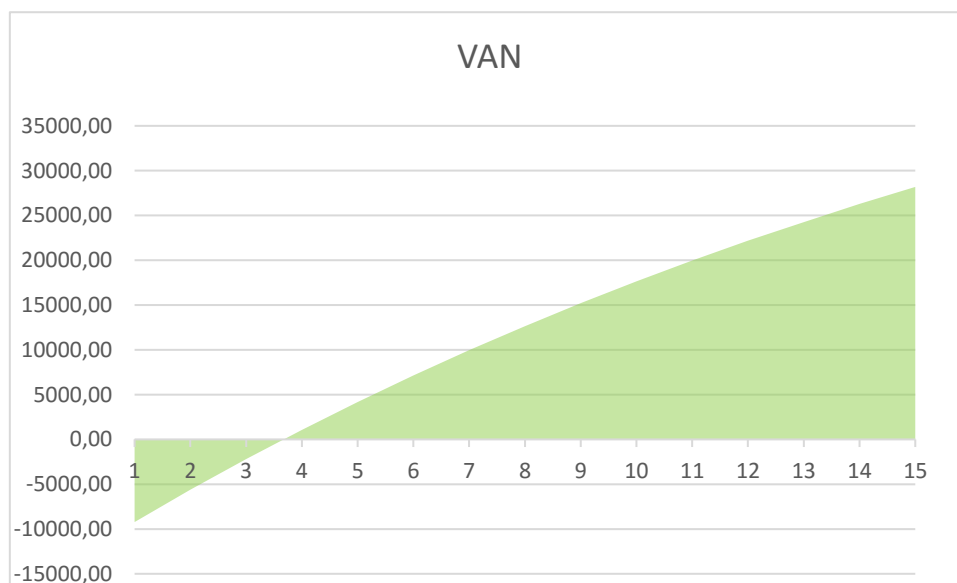


Ilustración 46. Valor Actual Neto (VAN) durante los años de vida útil

Se observa que la rentabilidad del proyecto es muy alta debido a las grandes ayudas que se obtienen por parte de los planes de subvención de energías renovables del Gobierno de Cantabria.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Se compara con el VAN obtenido en el caso de carecer de ningún tipo de ayudas ni subvenciones por parte del Gobierno de Cantabria para analizar el caso en el que estas ayudas fuesen denegadas.

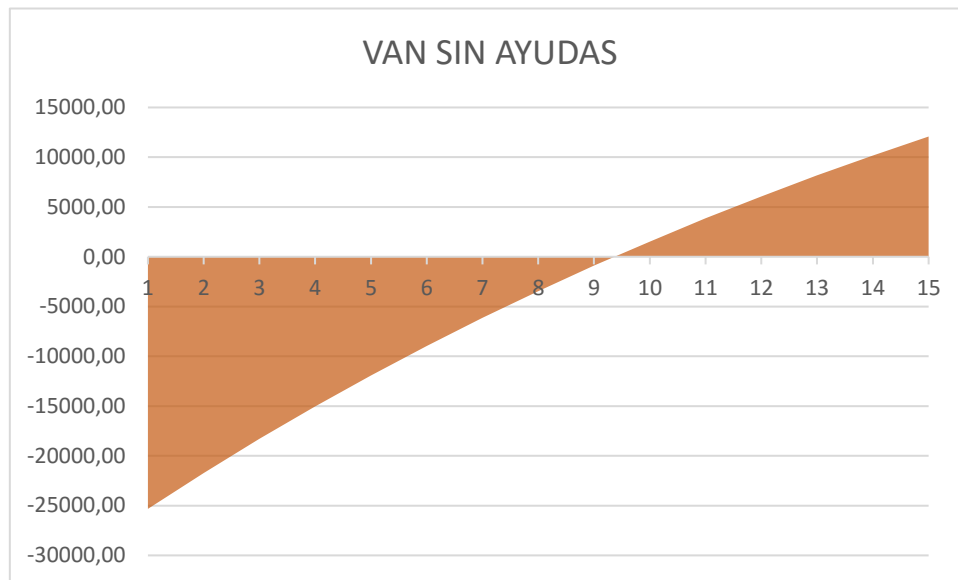


Ilustración 47. Valor Actual Neto (VAN) sin ayudas

En este caso, se observa que la rentabilidad del proyecto baja considerablemente y, aunque siga siendo rentable durante el periodo de vida útil de la instalación, supone un riesgo económico mucho mayor que deja fuera de las posibilidades de inversión a muchos usuarios finales de la instalación.

12. CONCLUSIONES

La realización de este Trabajo de Fin de Grado venía motivada por la necesidad de estudiar y analizar la viabilidad económica, técnica y ambiental del aprovechamiento de la energía solar térmica para la obtención de Agua Caliente Sanitaria en Santander, así como encontrar una manera de alimentar, mediante energía renovable, toda la demanda térmica de una vivienda unifamiliar. Se pretendía analizar cómo una familia media puede hacer una aportación para vivir en un entorno más sostenible.

Tras el estudio analizado se observa que técnicamente es posible utilizar la energía solar para cubrir una gran parte de las necesidades térmicas de ACS. Debido a la geometría de la vivienda, la superficie máxima disponible para colocar de forma segura y eficiente colectores solares ha sido un factor determinante a la hora de dimensionar la instalación. Aun así, con una superficie de captación de 4.43 m^2 , se logra satisfacer el 60.6% de la demanda anual de ACS.

Fomentando este tipo de instalaciones mixtas que combinan la energía solar con la biomasa, se observa que se obtiene una sustanciosa reducción de emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Comparando con el sistema térmico de gasoil que tenía la vivienda antes de la proyección, se consigue evitar la emisión de 22.9 Tn de CO_2 anuales, 432.85 kg de CO anuales, 221.45 kg de NO_x anuales y 57.64 kg de NO_x anuales; así como el ahorro de consumo energético de 23762.34 kWh al año.

Este ahorro energético supone un ahorro de combustible que, principalmente gracias a la implantación de la caldera de pellets, se traduce en un ahorro anual de 3847.71 €.

Aunque la inversión inicial sea elevada para una familia de clase social media que habita una vivienda de este tipo, gracias a las ayudas y subvenciones del Gobierno de Cantabria que destina a la implantación de sistemas de este tipo, se hace posible económicamente, aunque se queda fuera de lo viable para una familia que tenga unas condiciones más precarias.

Está visto que el desarrollo de estas tecnologías aún es insuficiente para poder ser económicamente rentable para todo tipo de viviendas sin la necesidad de subvencionar parte de la instalación por parte del Gobierno.

Finalmente, destacar que este tipo de instalaciones son factibles técnicamente, beneficiosas medioambientalmente y dependientes económicamente hablando.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Incropera, Frank P., Dewitt, David P., *Fundamentos de transferencia de calor*. Cruz, Ricardo (trad), Muñiz Díaz, Enrique (revisión técn), Delgado Núñez, Lourdes (asesoría técn). 4ª ed, México: Prentice-Hall, 1999. ISBN: 9701701704.
- [2] Fernández D., Pedro, *Ingeniería Térmica*. Santander, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Cantabria, 1992. ISBN: 846008244X.
- [3] Fernández D., Pedro, *Colectores de placa plana*. Santander, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Cantabria.
- [4] Edwards R., Larivé, Rickeard, Weindorf, *Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. ISBN: 9789279311963.
- [5] *Documentos técnicos de Instalaciones en la Edificación, DTIE 1.01* ATECYR. Editorial El Instalador.
- [6] *Documentos técnicos de Instalaciones en la Edificación, DTIE 8.03* ATECYR. Editorial El Instalador.
- [7] Santander, España. Ordenanza Municipal sobre la Captación y el Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica, Agosto 2006.
- [8] España. Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento, Septiembre 2013.
- [9] España. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Julio 2007.
- [10] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Octubre 2002.
- [11] España. Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
- [12] Santander, España. Orden INN/28/2016 de 11 de julio de 2016 de la Consejería de Innovación, Industria, Turismo y Comercio, por la que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones a actuaciones de energías renovables y ahorro y eficiencia energética en Cantabria.
- [13] Europa.eu. JRC European Comission. Base de datos climatológica de la ciudad de Santander, España.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=europe>

- [14] Aemet.es. Agencia Estatal de Meteorología. Datos climatológicos históricos de Santander, España.
http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos?w=0&k=can&l=1111&datos=det&x=1111&m=13&v=Tmn
- [15] Red Eléctrica de España. Avance del informe del Sistema Eléctrico 2015.
<http://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2015/12/la-demanda-de-energia-electrica-crece-un-1-9-en-el-2015>
- [16] Apuntes de Instalaciones y Máquinas Hidráulicas, 3º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2014-2015. Alejandro Sevilla Santiago, Fernando Campo Paredes.
- [17] Apuntes de Transferencia de Calor, 3º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2014-2015. Sergio Sánchez Delgado, Antonio Soria Verdugo.
- [18] Apuntes de Instalaciones Térmicas, 3º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2014-2015. Marcelo Izquierdo Millán.
- [19] Apuntes de *Energías Renovables*, 4º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2015-2016. Pedro A. Rodríguez Aumente, Ciro S. Vereda Ortiz.
- [20] Apuntes de *Equipos Térmicos*, 4º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2015-2016. Sergio Sánchez Delgado.
- [21] Apuntes de *Oficina Técnica: Proyectos Mecánicos*, 4º curso de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Año 2015-2016. Higinio Rubio Alonso.

14. ANEXO I: PLANOS Y DIAGRAMAS

14.1 PROPIEDADES PROPILENGLICOL EN AGUA

Density, Thermal Conductivity and Specific Thermal Capacity

The density, thermal conductivity and specific thermal capacity may all be calculated by the same kind of equation. The property is here represented by P_x

$$P_x = A_1 + A_2 \xi + A_3 \frac{273.15}{T} + A_4 \xi \frac{273.15}{T} + A_5 \left(\frac{273.15}{T} \right)^2$$

Parameter	ρ	Cp	λ	μ	Pr	T_F
Order	[kg/m ³]	[kJ/kg K]	[W/m K]	[Pa s]	[-]	[K]
0						1.0
1	508.411 09	4.476 42	1.188 86	-1.027 98	6.661 39	-0.037 36
2	-182.408 20	0.608 63	-1.491 10	-10.032 98	-6.994 40	-0.400 50
3	965.765 07	-0.714 97	-0.696 82	-19.934 97	-18.551 14	
4	280.291 04	-1.938 55	1.136 33	14.658 02	12.046 40	
5	-472.225 10	0.478 73	0.067 35	14.620 50	14.477 35	

Table II - Parameters of the mathematical models of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

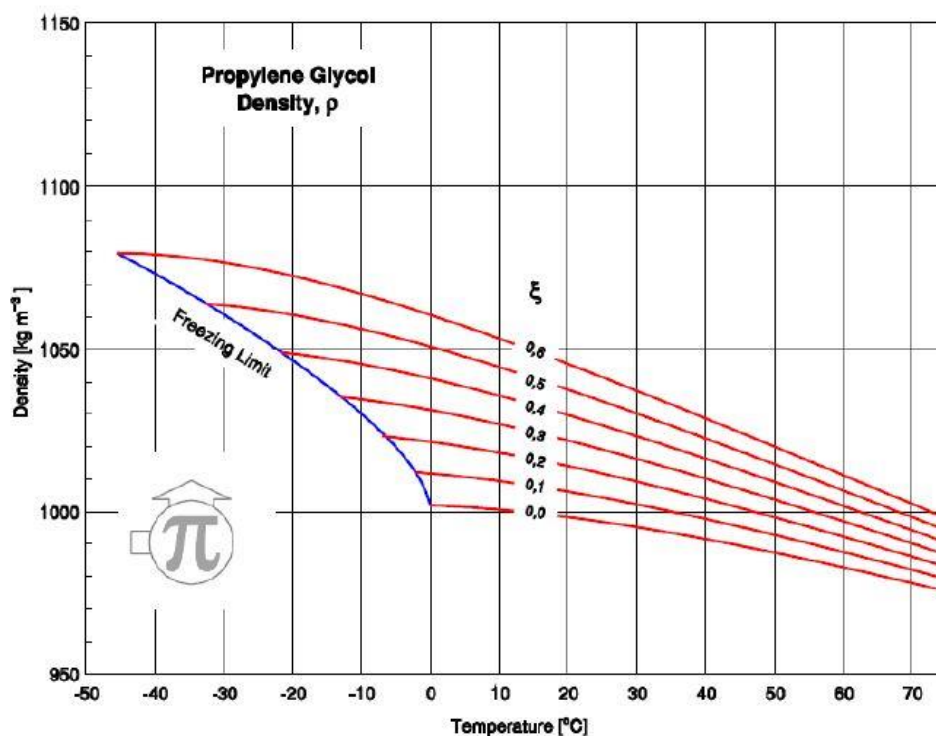


Fig. 7 - Density of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

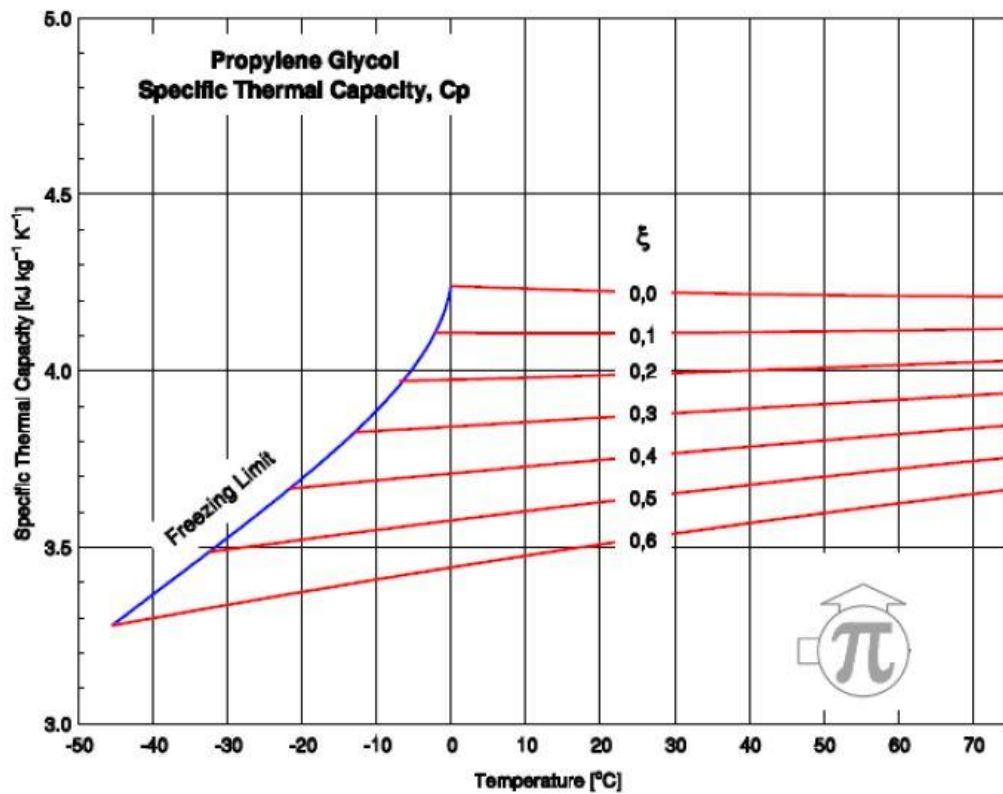


Fig. 8 - Specific thermal capacity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

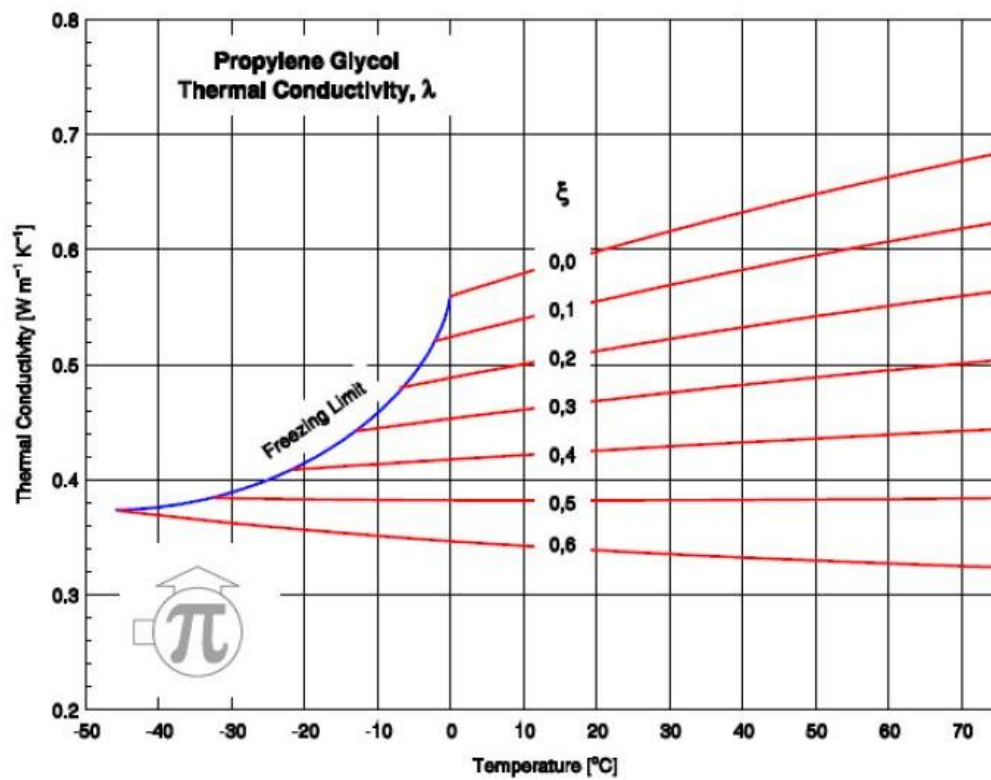


Fig. 9 - Thermal conductivity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

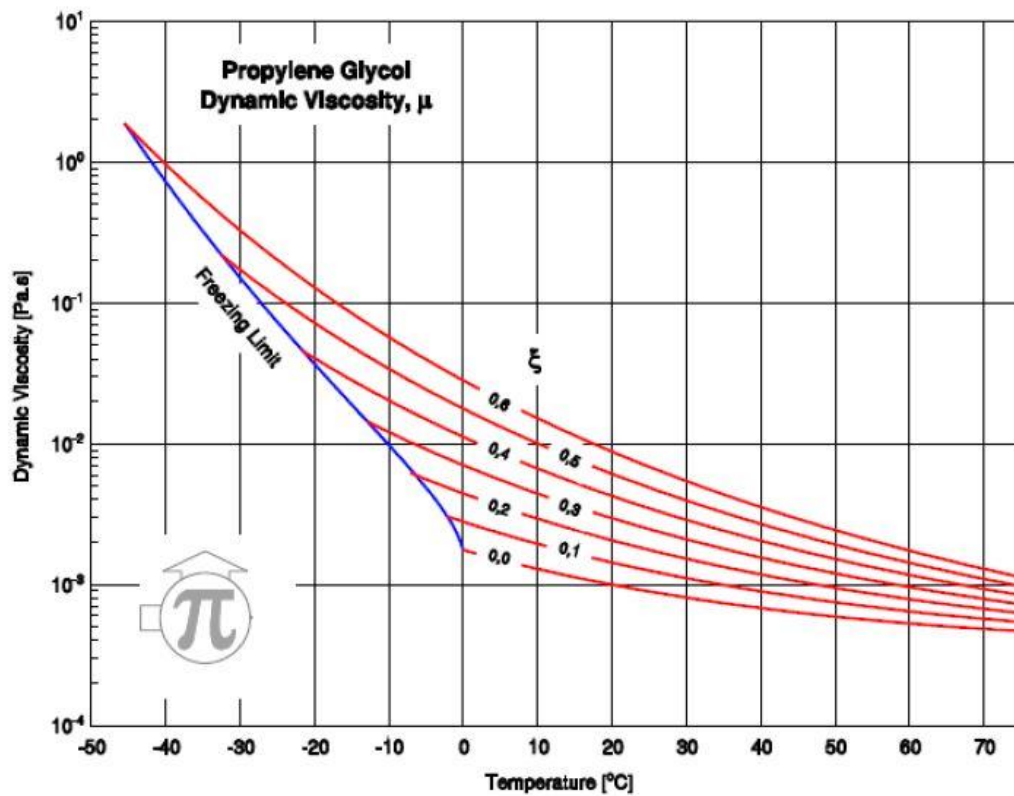


Fig. 10 - Dynamic viscosity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

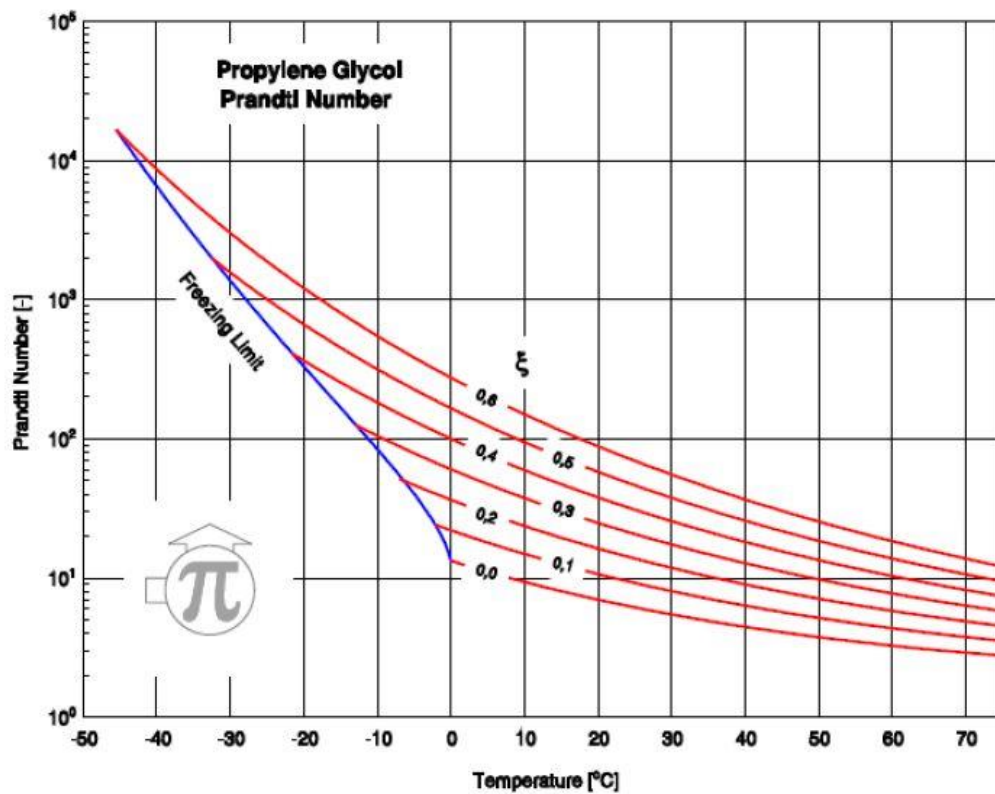


Fig. 11 - Prandtl number of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

14.2 PROPIEDADES AGUA

846

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

847

390	4.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1		440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9		450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7		460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5		470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2		480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1	—	645
647.3 ^c	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3 ^c

^a Adaptada de la referencia 19.

^b 1 bar = 10⁵ N/m².

^c Temperatura crítica.

14.3 PROPIEDADES AIRE

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

14.4 PROPIEDADES AISLANTE TUBERÍA

DATOS TÉCNICOS

■ Elastómero (FEF)
► Sistemas

■ K-FLEX ST

Rango de temperaturas	-165 °C* max +110 °C (-40°C máx +85°C para las planchas ST y ST/SK)	
Conductividad térmica λ W/(m·K) L10 EN 12667 (DIN 52612) EN ISO 8497 (DIN 52613)	Espesor \leq 25mm	Espesor $>$ 25mm
	-20 °C = 0,031	-20 °C = 0,034
	0 °C = 0,033	0 °C = 0,036
	+20 °C = 0,035	+20 °C = 0,038
Problemática de la corrosión	EN 13468; pH neutro (7 \pm 1)	
	\geq 10000	
Resistencia al paso del Vapor de Agua μ EN 12086 (DIN 52615)	\geq 7000	
Reacción al fuego	Euroclase B ₁ , s ₂ , d ₀ (EN 13501-1)	
	Euroclase B, s ₃ , d ₀ (EN 13501-1)	

* Para aplicaciones industriales, el producto puede ser aplicado hasta -198°C. Para temperaturas inferiores a -40°C contacte nuestro Departamento Técnico
L'ISOLANTE K-FLEX se reserva el derecho de variar los datos y requisitos técnicos sin previo aviso.

DATOS TÉCNICOS ► K-FLEX ST TUBOS



Características	Valores		Norma de ensayo
Temperatura de trabajo	K-FLEX ST TUBOS: de -165 °C* a +110 °C K-FLEX ST/SK: de -40 °C a +85 °C		EN 14706 EN 14707
Conductividad térmica λ W/(m·K)	Espeores \leq 25mm	Espeores $>$ 25mm	EN 13787 EN ISO 8497
	-20 °C = 0,031	-20 °C = 0,034	
	0 °C = 0,033	0 °C = 0,036	
	+20 °C = 0,035	+20 °C = 0,038	
Problemática de la corrosión	pH neutral (7 \pm 0,5)		EN 13468
Permeabilidad μ	\geq 10000	\geq 7000	EN 12086
Resistencia al fuego	K-FLEX ST TUBOS: Euroclase B ₁ -s ₂ , d ₀ K-FLEX ST/SK: Euroclase B ₁ -s ₂ , d ₀		EN 13501-1

* Para instalaciones industriales, el producto se puede aplicar hasta temperaturas de -198°C; para instalaciones inferiores a -40°C, contacte con nuestro Dpto. Técnico.

K-FLEX se reserva el derecho de cambiar cualquier dato o característica sin previo aviso.

14.5 PROPIEDADES DEL COBRE

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186	1146					
Aleación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042						
Armeo (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4		
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7	3519		
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04	2604	2823	3018	3227			
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85				
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7	1892	2160	2338				
Cinc	693	7140	389	116	41.8	117	118	111	103						
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0	
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
Cobalto	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5		
Cobre						236	379	450	503	550	628	733	674		
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
Bronce comercial (88% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	42	52	59	417	433	451	480			

14.6 FICHA CARACTERÍSTICAS: COLECTOR SOLAR

2 Datos sobre el producto

En este manual, el colector plano FKT-2 se abrevia como colector.

2.1 Colector

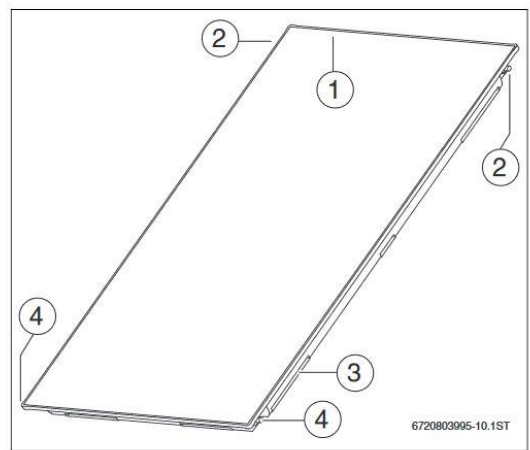


Fig. 1 Modelo de colector vertical

- [1] Vaina de inmersión para sonda del colector
- [2] Conector del colector
- [3] Bolsa de montaje en la carcasa (para fijar el colector)
- [4] Conector del colector, retorno

i En los gráficos de este manual se muestran los colectores verticales. Se indicará si el montaje de los colectores horizontales difiere del montaje de los colectores verticales.

2.1.1 Datos técnicos

FKT-2	
Certificados (marcado CE de conformidad, Solar Keymark)	
Longitud	2170 mm
Anchura	1175 mm
Altura	87 mm
Distancia entre los colectores	25 mm
Conector del colector (diámetro nominal)	DN15
Capacidad del absorbedor, modelo vertical (V _f)	1,61 l
Capacidad del absorbedor, modelo horizontal (V _f)	1,95 l
Superficie exterior (superficie bruta, A _G)	2,55 m ²
Superficie del absorbedor (superficie neta, A _A)	2,35 m ²
Superficie de apertura (superficie transparente, A _a)	2,43 m ²
Peso neto (m)	45 kg
Presión de servicio admisible del colector (P _{max})	10 bar

Tab. 2

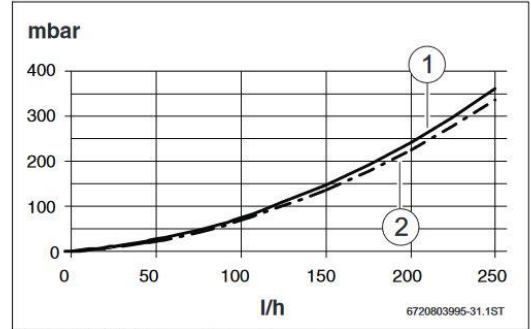


Fig. 2 Pérdida de carga de los colectores

- [1] Curva de pérdida de carga para modelo vertical
- [2] Curva de pérdida de carga para modelo horizontal

2.1.2 Placa de características

La placa de características del colector se encuentra en la carcasa del colector.

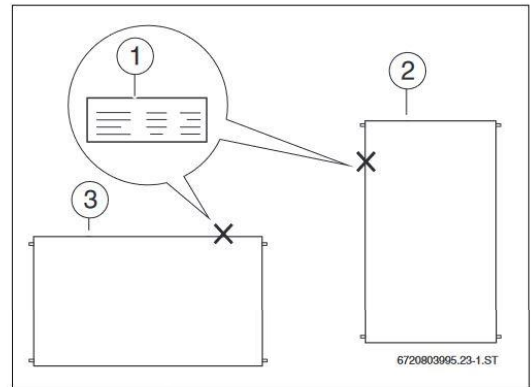


Fig. 3 Posición de la placa de características

- [1] Placa de características en la carcasa del colector
- [2] Vaina de inmersión para sonda de colector, modelo de colector vertical
- [3] Vaina de inmersión para sonda de colector, modelo de colector horizontal

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

Ficha del producto para el consumo de energía

FKT-2W

8718532770

Los siguientes datos de productos corresponden a las exigencias de los Reglamentos Delegados de la UE n.º 811/2013, 812/2013, 813/2013 y 814/2013 por los que se complementan con la Directiva 2010/30/UE.

Datos del producto	Símbolo	Unidad	8718532770
Área de apertura del colector	A_{sol}	m ²	2,43
Eficiencia del colector	η_{col}	%	62
Eficiencia de pérdida cero	η_0		0,802
Coefficiente de primer orden	a_1	W/(m ² K)	3,83
Coefficiente de segundo orden	a_2	W/(m ² K ²)	0,015
Modificador del ángulo de incidencia	IAM		0,94

14.7 FICHA CARACTERÍSTICAS: BOMBA

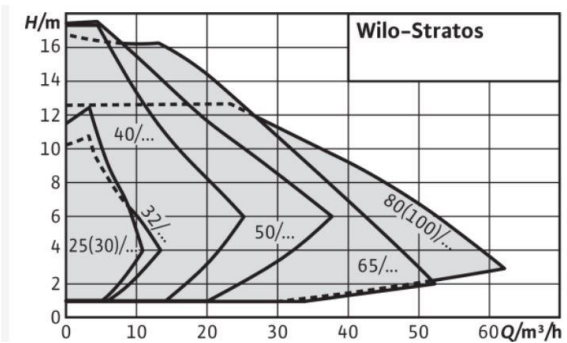
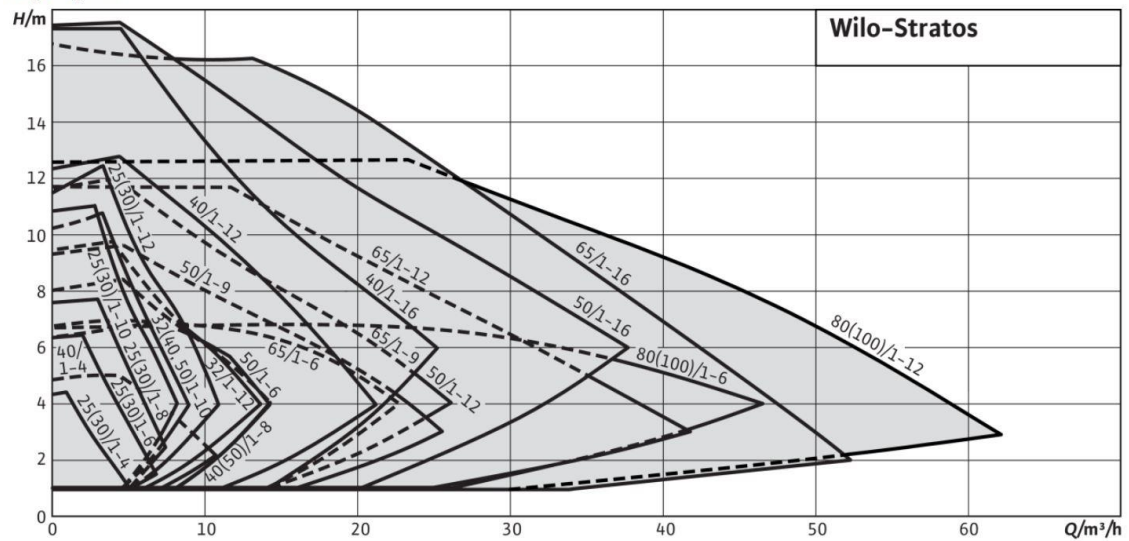


Diagrama general

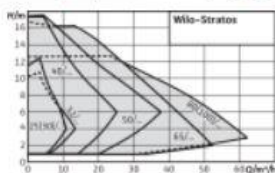


Wilo-Stratos

Stratos

Imagen de

Curva



Catálogo de productos online

Descargas

Construcción

Bomba circuladora de rotor húmedo con conexión roscada o embridada, motor EC con adaptación automática de potencia

Aplicación

Todos los sistemas de calefacción por agua caliente, instalaciones de climatización, circuitos cerrados de refrigeración y sistemas industriales de circulación.

Particularidades/ventajas del producto

Todos los sistemas de calefacción por agua caliente, instalaciones de climatización, circuitos cerrados de refrigeración y sistemas industriales de circulación.

Technical data

- Índice de eficiencia energética (IEE) $\leq 0,23$
- Rango de temperaturas permitido de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50/60 Hz
- Tipo de protección IP X4D
- Conexión roscada o embridada (según el tipo) Rp 1 hasta DN 100
- Presión de trabajo máx. de la ejecución estándar:
6/10 bar y 6 bar (ejecución especial: 10 bar o 16 bar)

14.8 FICHA CARACTERÍSTICAS: INTERACUMULADOR



Modelo de 1.500 litros y mayores tamaños preparados para el exterior

- Fabricados en Acero Inoxidable AISI 316.
- Modelo para producción de A.C.S. con serpentín espiral inox. AISI 316.
- Temperatura máxima de trabajo 90°C.
 - Modelos para producción de A.C.S. (gama INOXUNIT/ES).
 - Modelos de 500 litros y superiores suministrados con cáncamo de elevación.
 - Coloración correspondiente a modelos hasta 500 litros de volumen.
 - A partir de 750 litros (incluido) la coloración es completamente blanca.
 - Presión máxima de trabajo en circuito de A.C.S. de 6 bar.
 - El tipo de aislamiento es de poliuretano inyectado.
 - Con conexiones hembra.

Elementos opcionales:

- Conjunto protección catódica.
- Modelos para trabajar a 8 o 10 bar (consultar precios y plazos de entrega).
- Resistencias eléctricas.

	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	TRABAJANDO CON CALDERA (*)			TRABAJANDO CON ENERGÍA SOLAR (**)			PESO (kg)	ESPESOR DE AISLAMIENTO (mm)	λ (W/m²·°C)	SUPERFICIE INTERCAMBIO M²	VOLUMEN SERPENTÍN (l)
			POTENCIA INTERC. (kW)	PRODUCCIÓN PUNTAJ/L/h	PÉRDIDA DE CARGA PRIMARIO M.C.A.	POTENCIA INTERC. (kW)	PRODUCCIÓN PUNTAJ/L/h	PÉRDIDA DE CARGA PRIMARIO M.C.A.					
Modelos con patas y boca de registro sin boca de registro DN 200	184000800	INOXUNIT/ES 80-P	26,4	684	0,25	5	236	0,025	27	45	0,4678	0,76	2,9
	184001000	INOXUNIT/ES 100-P	26,4	692	0,25	5,3	273	0,05	29	45	0,51	0,76	2,9
	184001500	INOXUNIT/ES 150-P	36	963	0,65	6,6	376	0,092	34	45	0,6625	0,98	4,34
	184002000	INOXUNIT/ES 200-P	38,6	1034	0,92	6,6	448	0,13	43	45	0,8454	1,15	5,07
	184003000	INOXUNIT/ES 300-P	56,1	1.506	2,56	6,56	590	0,43	62	40	1,3461	1,47	6,52
	184005000	INOXUNIT/ES 500-P	77,3	2.110	6,37	9,3	942	1,02	78	35	1,9864	2,11	9,32
Modelos con patas y boca de registro DN 400	184007500	INOXUNIT/ES 750-P	84,6	2.395	8,82	11,6	1357	1,18	130	50	2,5623	2,74	12,11
	184203000	INOXUNIT/ES 300-PB	56,1	1.506	2,56	6,6	590	0,43	80	40	1,3461	1,47	6,52
	184205000	INOXUNIT/ES 500-PB	77,3	2.110	6,37	9,3	942	1,02	96	35	1,9864	2,11	9,32
	184207500	INOXUNIT/ES 750-PB	84,6	2.395	8,82	11,6	1357	1,18	148	50	2,5623	2,74	12,11
	184210000	INOXUNIT/ES 1000-PB	90,7	2.650	11,22	12,3	1715	0,52	177	50	2,9377	3,04	13,46
	184215000	INOXUNIT/ES 1500-PB	113	3.430	2,55	17,4	2572	0,61	273	65	2,2275	3,59	25
Modelos para caldar	184220000	INOXUNIT/ES 2000-PB	128	4.040	3,7	23,4	3436	1,6	318	65	2,8979	4,35	28,2
	184225000	INOXUNIT/ES 2500-PB	146	4.650	7,84	28,5	4.275	1,63	383	45	3,6576	5,08	36
	184230000	INOXUNIT/ES 3000-PB	168	5.640	8,8	32,8	5097	3,5	449	45	4,6644	6,5	40,05
	184100800	INOXUNIT/ES 80-C	26,4	684	0,25	5	236	0,025	27	45	0,4678	0,76	2,9
Modelos para caldar	184101000	INOXUNIT/ES 100-C	26,4	692	0,25	5,3	273	0,05	28	45	0,51	0,76	2,9
	184101500	INOXUNIT/ES 150-C	36	963	0,65	6,6	376	0,092	33	45	0,6625	0,98	4,34
	184102000	INOXUNIT/ES 200-C	38,6	1034	0,92	6,6	448	0,1	43	45	0,8454	1,15	5,07

* Salto de primario: 90/70°C - Salida ACS: 45°C - Agua de red: 10°C.

** Salto de primario: 65/55°C - Salida ACS: 45°C - Agua de red: 10°C.

*** Datos aproximados de pérdidas de calor por °C de diferencia de temperaturas entre el ACS y la temperatura exterior.

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

CONEXIONES Y DIMENSIONES DEL ACUMULADOR INOXUNIT/ES:



CONEXIONES

- 1 Salida A.C.S.
- 2 Termómetro y termostato
- 3 Resistencia (Opcional)
- 4 Sonda
 - hasta 750L inclusive posición bajo resistencia
 - a partir de 1.000 L a 45° del eje (solo en interacumuladores con boca)

- 5 Vaciado
- 6 Ida primaria
- 7 Recirculación
- 8 Retorno primario
- 9 Entrada agua fría
- 10 Boca de registro
- 11 Anodos de titanio

DENOMINACIÓN	CONEXIONES						
	1-9	2-4	3	5	6-8	7	10
INOXUNIT/A 80-P	1"	1/2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	3/4"	-
INOXUNIT/A 100-P	1"	1/2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	3/4"	-
INOXUNIT/A 150-P	1"	1/2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	3/4"	-
INOXUNIT/A 200-P	1"	1/2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	3/4"	-
INOXUNIT/A 300-P	1"	1/2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	3/4"	DN-200
INOXUNIT/A 500-P	1-1/4"	1/2"	2"	1-1/4"	3/4"	3/4"	DN-200
INOXUNIT/A 750-P	1-1/4"	1/2"	2"	1-1/4"	1"	3/4"	DN-200
INOXUNIT/A 1000-PB	1-1/4"	1/2"	2"	1-1/4"	1"	3/4"	DN-400
INOXUNIT/A 1500-PB	1-1/2"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400
INOXUNIT/A 2000-PB	1-1/2"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400
INOXUNIT/A 2500-PB	1-1/2"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400
INOXUNIT/A 3000-PB	2"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400
INOXUNIT/A 4000-PB	3"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400
INOXUNIT/A 5000-PB	3"	1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	DN-400

DENOMINACIÓN	COTAS (mm)													
	A	B	C c/boca	C s/boca	D	E c/boca	E s/boca	F c/boca	F s/boca	G	H	I	J	K
INOXUNIT/A 80-P	440	1.070	-	367	-	-	547	-	507	407	287	80	120	545
INOXUNIT/A 100-P	520	952	-	402	-	-	542	-	502	402	302	80	120	625
INOXUNIT/A 150-P	520	1.202	-	442	-	-	621	-	581	481	301	80	120	625
INOXUNIT/A 200-P	520	1.502	-	532	-	-	1.041	-	622	481	301	80	120	625
INOXUNIT/A 300-P	560	1.886	703	603	333	1.283	1.283	837	713	493	313	80	200	670
INOXUNIT/A 500-P	670	1.934	702	527	347	1.317	1.317	937	737	517	337	80	200	785
INOXUNIT/A 750-P	930	1.818	787	632	452	1.132	872	1.022	822	602	422	115	200	1030
INOXUNIT/A 1000-PB	930	2.068	772	572	452	1.272	1.052	1.262	862	602	422	115	200	1030
INOXUNIT/A 1500-PB	1.280	1.854	865	745	575	1.295	1.065	1.255	915	735	55	115	200	1365
INOXUNIT/A 2000-PB	1.280	2.354	925	725	605	1.485	1.125	1.355	955	735	555	115	200	1365
INOXUNIT/A 2500-PB	1.510	1.964	1.010	850	680	1.410	1.180	1.400	1.100	800	620	115	200	1490
INOXUNIT/A 3000-PB	1.510	2.464	1.110	910	680	1.640	1.290	1.620	1.220	800	620	115	200	1605
INOXUNIT/A 4000-PB	1.910	2.193	1.214	1.014	774	1.514	1.554	1.534	1.234	864	714	115	200	1980
INOXUNIT/A 5000-PB	1.910	2.693	1.214	1.074	744	1.624	1.814	1.794	1.394	864	714	115	200	1980



Para resistencias eléctricas y protecciones catódicas, ver apartado accesorios.

Para detalles y esquemas de los acumuladores para colgar, consultar departamento técnico de FERROLI ESPAÑA, S.L.U.

PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE GARANTÍA ES NECESARIO:

- Que las características químicas del agua cumplan con las indicadas en el manual de instalación.
- Instalar la válvula de seguridad.
- Instalar válvula de ventosa si el depósito se encuentra en un nivel superior a los elementos de consumo.

14.9 FICHA CARACTERÍSTICAS: RADIADOR

PRESTACIONES

● Máxima duración

La aleación especial utilizada en su fabricación resistente a la corrosión y una fabricación controlada, los hacen tan duraderos como su vivienda.

● Integración en instalaciones de baja temperatura

El gran poder de transmisión térmica del aluminio así como el estudiado diseño del elemento con sus 2 aletas, hacen posible una elevada emisión térmica, que junto a la amplia gama de alturas disponibles permiten adaptarse de forma sumamente sencilla a instalaciones de baja temperatura, consiguiendo mejores sensaciones de confort térmico y mayores ahorros energéticos.

● Estanquidad total

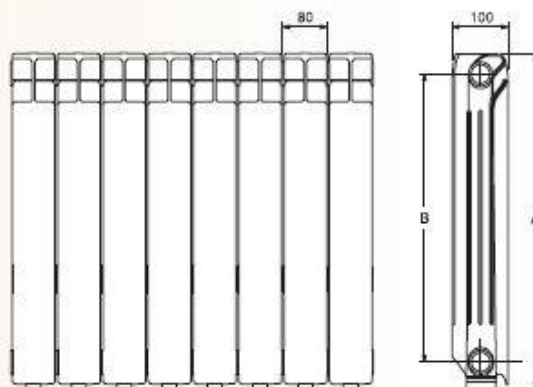
Nuestro sistema exclusivo de **junta elástica** entre elementos asegura una estanquidad indefinida. Todos los elementos son probados, formando baterías, a una vez y media la presión de servicio, es decir, a 9 kg/cm²

● Perfecto acabado

Se suministran pintados individualmente con resinas epoxi polimerizadas, que le proporcionan un acabado de gran belleza y duración, montados en baterías de 2 a 12 elementos y protegidos por una gruesa funda de plástico retráctil y protectores laterales de cartón.

● Agradable estética

El suave redondeado de su parte superior y el estudiado diseño de las aletas, que determinan las ventanas de salida del aire, configuran una estética moderna y agradable, haciendo innecesario el uso de cubrerradiadores, etc, que obligan a redimensionar las instalaciones.



Especialmente indicado para trabajar en instalaciones de baja temperatura, con $\Delta T 30^\circ \text{C}$.
Datos técnicos en tabla

No aislar el radiador completamente de la instalación, salvo que esté equipado con purga automática.
No aislar la instalación completa en caso de instalaciones centralizadas si no existen elementos de seguridad.

DATOS TÉCNICOS RADIADORES XIAN

CARACTERÍSTICAS			XIAN 450 N	XIAN 600 N	XIAN 700 N	XIAN 800 N
Emisión térmica UNE EN 442	$\Delta T = 50^{\circ} C$	W	90,8	122,9	142,2	160,2
		kcal/h	78	105,7	122,3	137,7
	$\Delta T = 60^{\circ} C$	W	115,1	156,2	181,4	204,3
		kcal/h	99	134,3	156	175,7
	$\Delta T = 40^{\circ} C$	W	67,83	91,66	105,62	118,93
		kcal/h	58,33	78,83	90,83	102,28
	Emisión baja temperatura $\Delta T = 30^{\circ} C$	W	46,6	62,08	72	81
		kcal/h	40,08	53,39	61,92	69,66
Tª máxima de funcionamiento		°C	110			
Exponente n			1,30483	1,31423	1,33400	1,33487
Km			0,550807	0,718974	0,770156	0,864470
Contenido agua		(litros)	0,31	0,39	0,45	0,50
Peso		(kg)	1,04	1,36	1,60	1,85
Dimensiones	A	(mm)	431	581	700	800
	B	(mm)	350	500	600	700
Conexiones		(Ø)	1"	1"	1"	1"

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

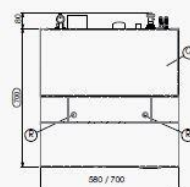
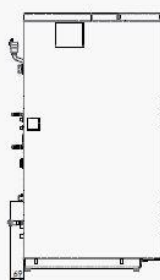
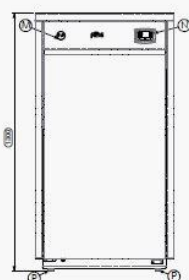
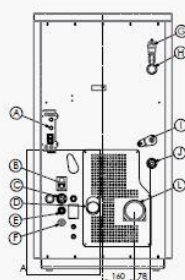
14.10 FICHA CARACTERÍSTICAS: CALDERA DE APORTE



TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH
Am Grauen Stein _ D-51105 _ Köln
Test Centre for Energy Appliances - NB 2456
EN 303-5:2012 _ Report n°K931201221

Tipologia <i>Type of equipment / Type d'appareil / Gerätetyp / Tipo de dispositivo</i>		Caldala a pellet / Heating Boiler <i>Chaudière à granulés / Kessel / Caldera</i>	
Marchio commerciale <i>Trademark / Marque de commerce / Marke / Marca</i>		Ferroli España	
Modello <i>Model / Modèle / Modell / Modelo</i>		NATURFIRE F17 HR	NATURFIRE F24 HR
Combustibile <i>Fuel / Carburant / Brennstoff / Combustible</i>		Pellet di Legno / Wood pellet / Granules de bois <i>Holzpellet / Pellets de madera _ UNI EN14961-2 _ classe A1</i>	
Potenza termica introdotta * <i>Heat input/ Puits introduite/ Eingeführt Leistung / Pot. introducida</i>	kW	17,0 – 4,4	23,2 – 4,4
Potenza termica nominale * <i>Nominal heat output / Puits. nominale/ Nennleistung / Pot. Nominal</i>	kW	16,2 – 4,2	22,0 – 4,2
Rendimento termico * <i>Efficiency / Rendement / Wirkungsgrad / Rendimiento</i>	%	95,68 – 95,09	94,54 – 95,09
Consumo orario * <i>Fuel consumption / Consommation horaire / Stundl. Verbrauch / Consumo horario</i>	kg/h	3,5 – 0,91	4,8 – 0,91
Emissione CO al 10% O₂ * <i>Emission CO / Emission CO / CO Emission / Emisiones de CO</i>	mg/m ³	0,011 - 0,032 139,8 - 395,8	0,009 - 0,032 114,5 - 395,8
Emissione CnHm al 10% O₂ * <i>Emission CnHm / Emissions CnHm / CnHm Emission / Emisiones CnHm</i>	mg/m ³	6,2 – 15,7	4,7 – 15,7
Emissione NOx al 10% O₂ * <i>Emission NOx / Emissions NOx / NOx Emission / Emisiones de NOx</i>	mg/m ³	146,5 – 125,6	153,1 – 125,6
Emissione polveri PP al 10% O₂ * <i>Emission dust PP/Emis. de poussières PP/Staubemission PP/Emis. de polvo PP</i>	mg/m ³	23,8 – 25,4	22,2 – 25,4
Emissione CO al 13% O₂ * <i>Emission CO / Emission CO / CO Emission / Emisiones de CO</i>	mg/m ³	0,009 - 0,023 101,7 - 287,9	0,007 - 0,023 83,3 - 287,9
Emissione CnHm al 13% O₂ * <i>Emission CnHm / Emissions CnHm / CnHm Emission / Emisiones CnHm</i>	mg/m ³	4,5 – 11,4	3,4 – 11,4
Emissione NOx al 13% O₂ * <i>Emission NOx / Emissions NOx / NOx Emission / Emisiones de NOx</i>	mg/m ³	106,5 – 91,4	111,3 – 91,4
Emissione polveri PP al 13% O₂ * <i>Emission dust PP/Emis. de poussières PP/Staubemission PP/Emis. de polvo PP</i>	mg/m ³	17,3 – 18,5	16,2 – 18,5
Emissione particolato totale PPBT al 13% O₂ * <i>Total dust emission / Total émis. particules / Insgesamt Staubemission / Total émis. partículas</i>	mg/m ³	19,19 – 23,89	17,63 – 23,89
Temperatura max acqua impostabile <i>Set max temp./Temp. max de l'eau réglable/Max. wassertemp./Temp. max agua establecer</i>	°C	80	
Pressione max acqua di esercizio <i>Pression max eau d'utilisation / Max. Betriebsdruck / Presión max funcionamiento</i>	bar	3	
Capacità acqua termocamera <i>Cap. chambre comb. / Fassungsvermögen Wärmekammer/Cap. cámara térmica</i>	l	25	
Attacchi idraulici riscaldamento <i>Raccordements hydrauliques / Hydraulikanschlüsse / Conexiones hidráulicas</i>	"	1	
Capacità serbatoio pellet <i>Capacité du réservoir à granulés / Behälterinhalt / Capacidad del depósito</i>	kg	48	
Classe della caldaia rif. EN303-5_2012 <i>Boiler class / Chaudière class / Klasse von Kessel / Clase de caldera</i>		5	
Perdite di carico lato acqua ΔT 10K <i>Perte de charge sur le côté/Druckabfall auf der Wassersseite/Pérdida de carga en lado del agua</i>	mbar	178,6	314
Perdite di carico lato acqua ΔT 20K <i>Perte de charge sur le côté/Druckabfall auf der Wassersseite/Pérdida de carga en lado del agua</i>	mbar	44,63	78,5
Temperatura uscita fumi <i>Température de fumée / Abgasstemperatur / Temperatura salida humos</i>	°C	102,8 – 53,8	128,1 – 53,8
Portata dei fumi * <i>Flue gas flow / Débit gaz de combustion / Abgasmassenstrom / Caudal de humos</i>	g/s	8,2 – 4,0	10,8 – 4
Tiraggio canna fumaria min-max <i>Draught min -max / Tirage fumée min-max / Minderstzug min-max / Tiro min - max</i>	Pa (mbar)	10 - 14 (0,10 - 0,14)	
Diámetro tubo scarico fumi <i>Fume outlet pipe / Tuyau d'évacuation fumées / Rauchabzugsrohr / Tubo salida humos</i>	mm	100	
Alimentazione elettrica <i>Electrical power / Alimentation électrique / Elektrische Versorgung / Alimentación eléctrica</i>		230V - 50Hz - 2A	
Assorbimento elettrico <i>Rated input power / Consommation électrique / Stromaufnahme / Consumo eléctrico</i>	W	Accensione/Start 430 - Stand by 4 - P.nom 85 - P.rid. 75	
Dimensioni d'ingombro H x L x P <i>Dimensions / Dimensions / Abmessungen / Medidas</i>	mm	1300x580x698	1300x580x698
Peso a vuoto <i>Weight / Poids / Behälterinhalt / Peso</i>	kg	230	230

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO

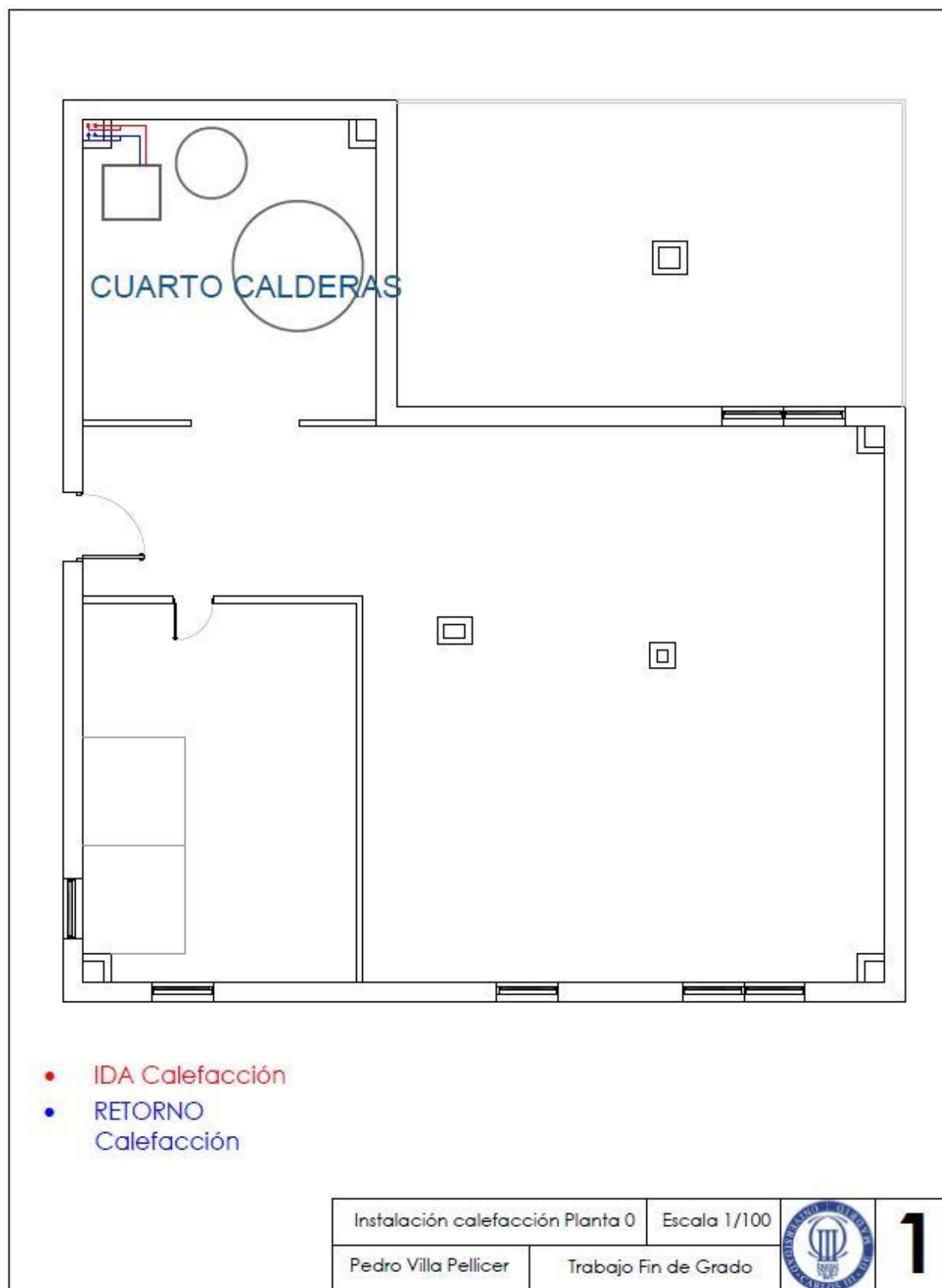


- A.- Conexión cable tensión eléctrica
- B.- Vaciado agua por sobrepresión (1/2" hembra)
- C.- Retorno instalación (1" macho)
- D.- Aspiración aire para combustión (Ø 60mm)
- F.- Toma vaciado agua caldera
- G.- Purgador aire calderal
- I.- Inspección y manipulación bomba calefacción
- J.- Ida instalación (1" hembra)
- L.- Conexión tubo salida gases quemados (Ø 100mm)
- M.- Termohidrometro
- N.- Panel control digital
- O.- Puerta acceso interior caldera
- P.- Patas regulables
- Q.- Contenedor pellet interior
- R.- Tiradores turbuladores para limpieza

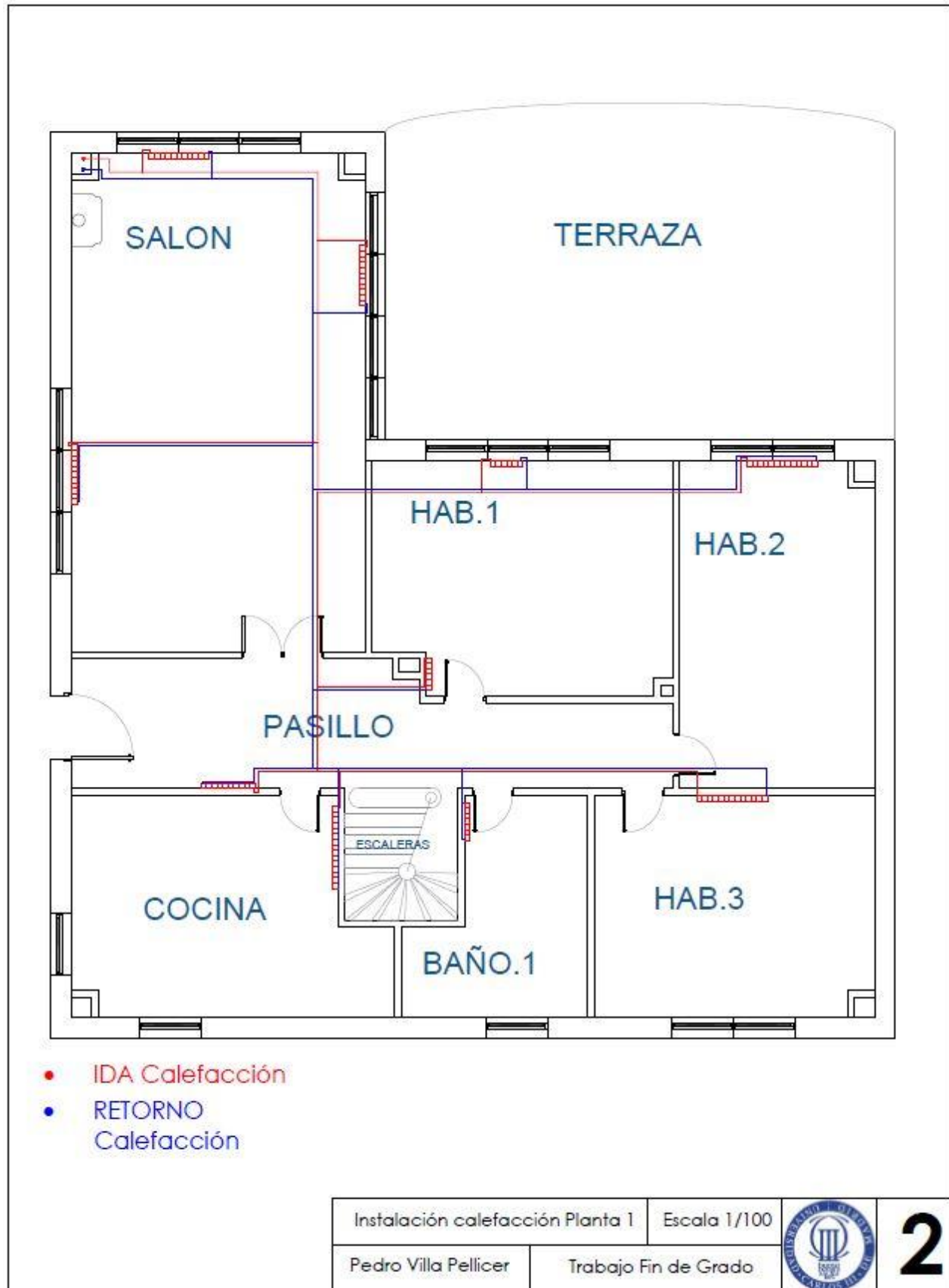
CAL 46/14

DATOS TÉCNICOS			HR 25	HR 30	HR 39
POTENCIA NOMINAL		kW	23,3	29	38,3
POTENCIA TÉRMICA ÚTIL		kW	22	27,4	34,9
RENDIMIENTO	Potencia máxima	%	94,5	94,5	91,32
	Potencia mínima	%	95,1	90,1	90,14
CONSUMO PELLETS MÁXIMO		Kg/hora	4,8	6	7,9
VOLUMEN VASO DE EXPANSIÓN		L	8	8	8
MÁX. DIMENSIONES ESTANCIA A CALEFACTAR		m	202	243	295
TEMPERATURA SALIDA GASES MÁXIMA		°C	130	150	160
DIMENSIONES	Alto/Ancho/Fondo	mm.	1300/580/700	1300/700/700	1300/700/700
PESO		Kg.	210	250	275
VOLUMEN DEPÓSITO PELLET		Kg.	48	68	68
DIÁMETRO TUBO SALIDA GASES QUEMADOS		mm.	100	100	100
EMISIONES DE POLVO (13% O ₂)	Potencia máxima	%	16,3	18	17,8
	Potencia mínima	%	18,5	6,9	6,9

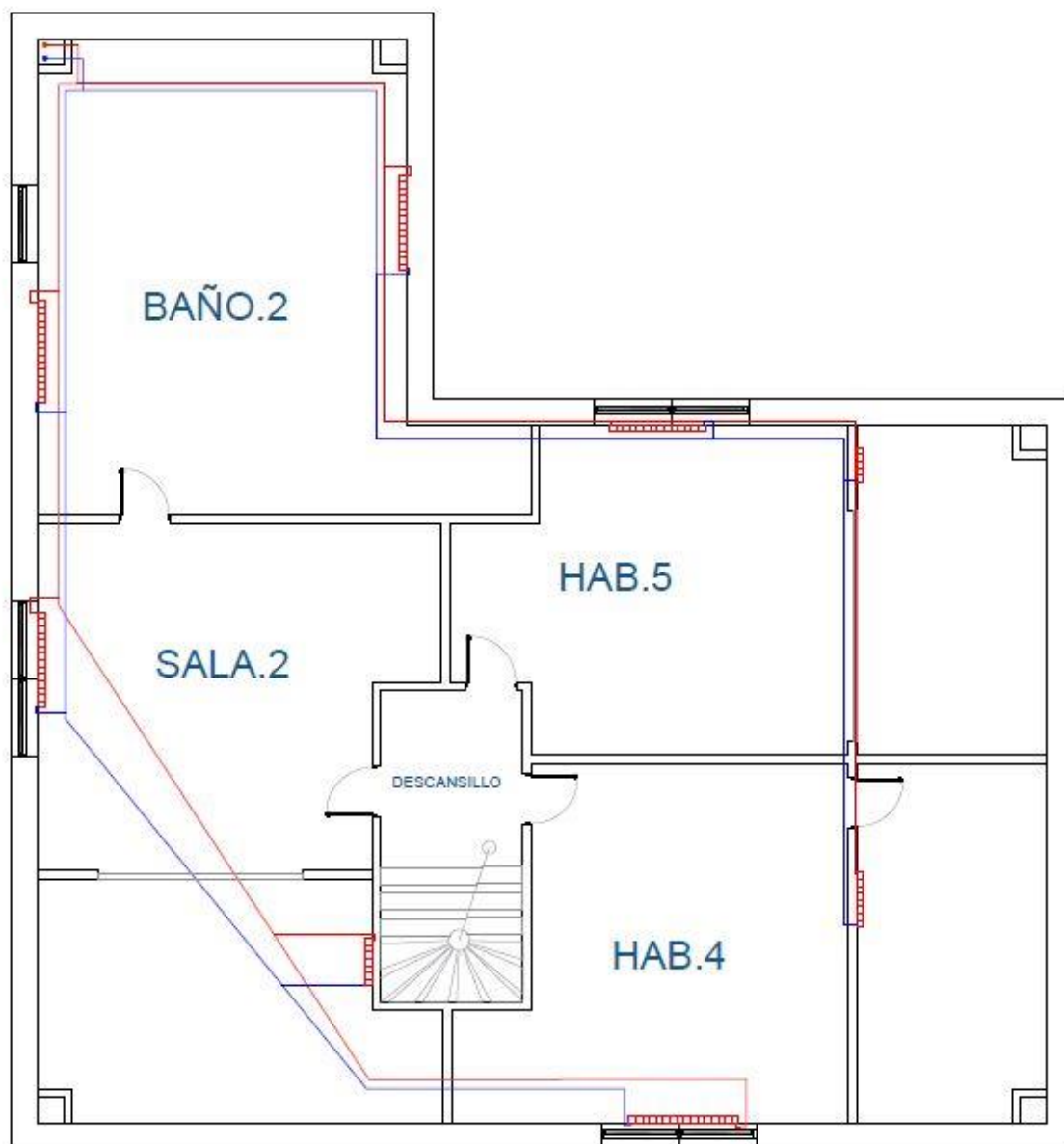
14.11 PLANOS




DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO



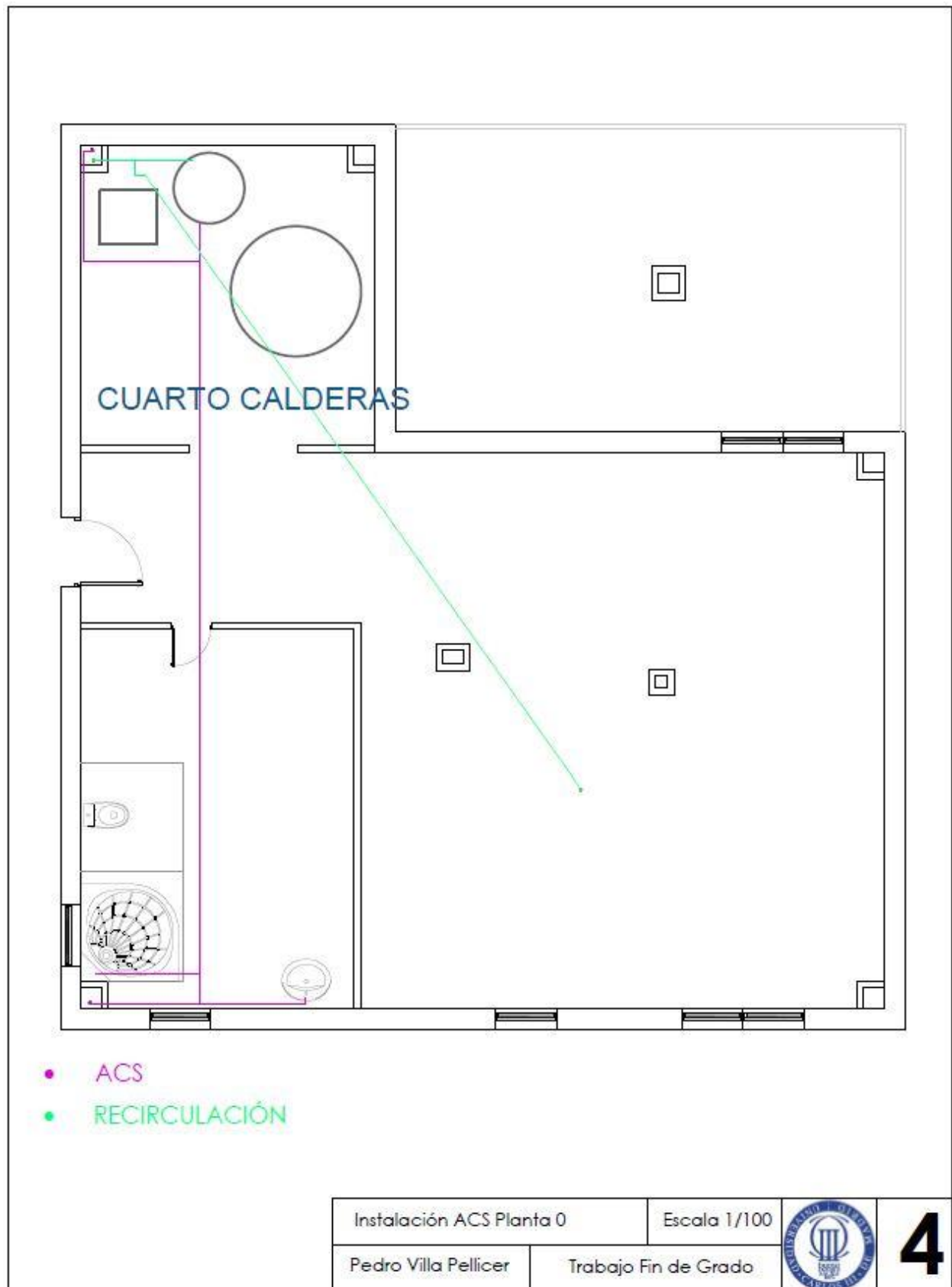
DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO



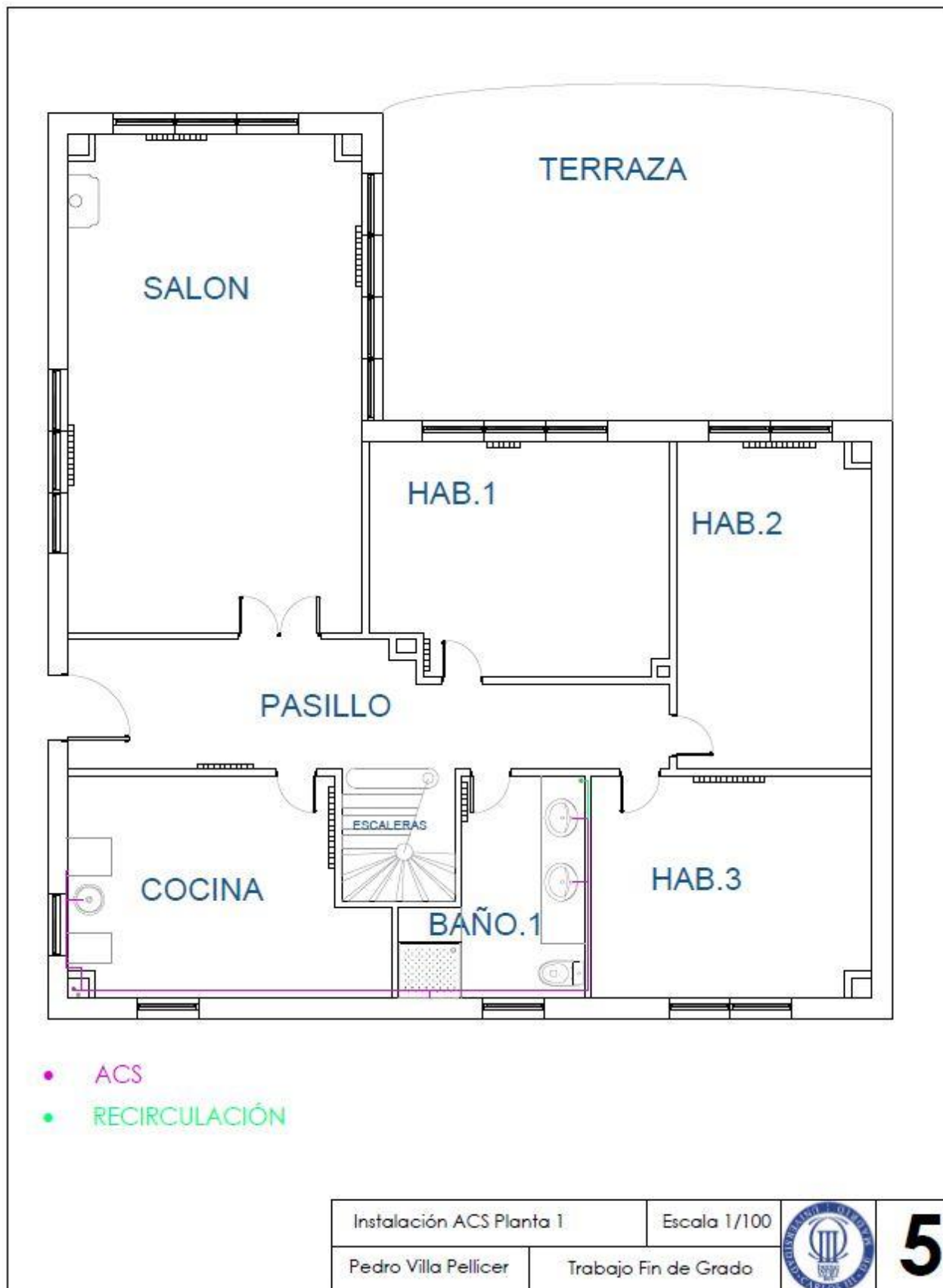
- IDA Calefacción
- RETORNO Calefacción

Instalación calefacción Planta 2	Escala 1/100		3
Pedro Villa Pellicer	Trabajo Fin de Grado		

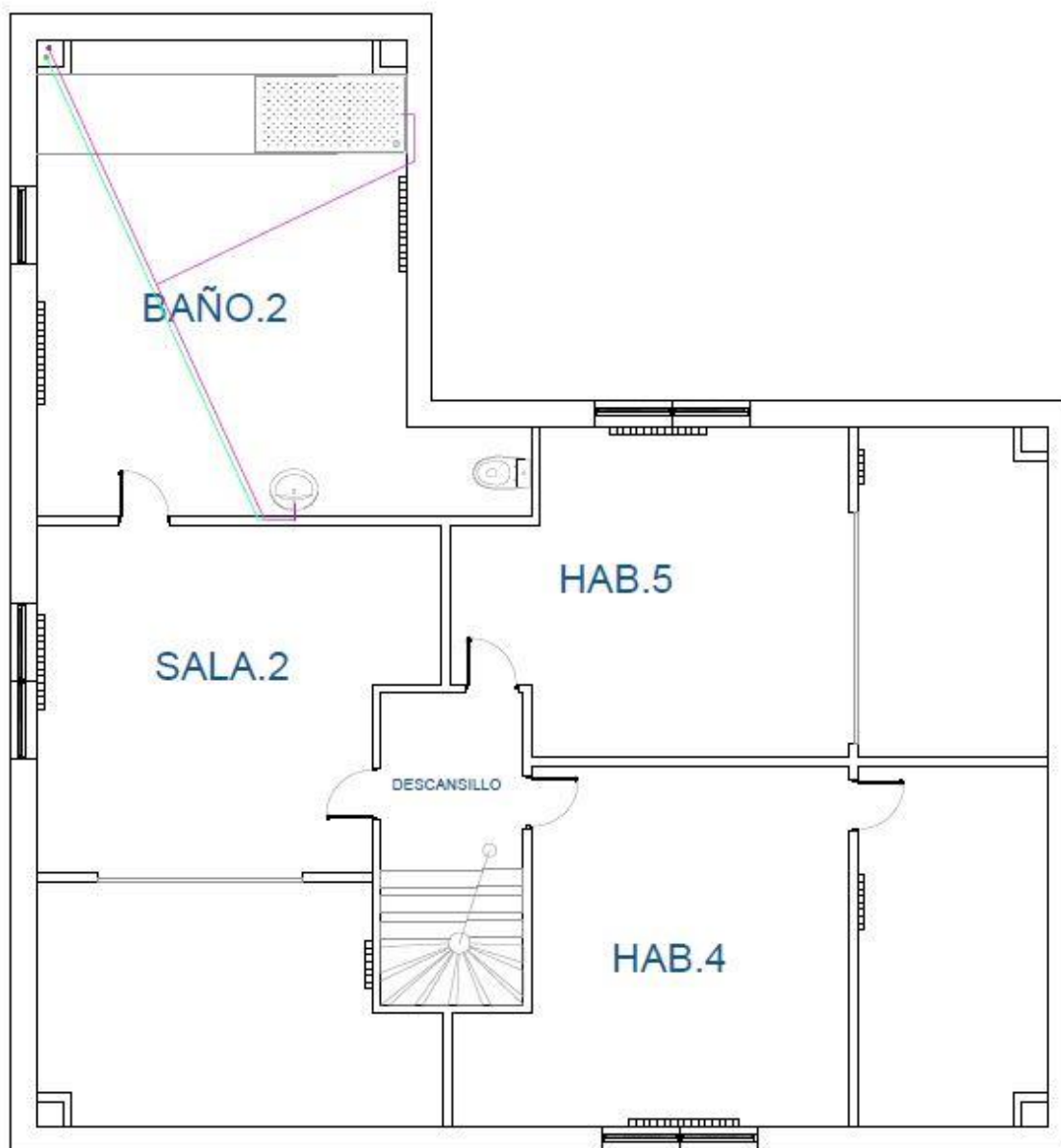
DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO




DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO



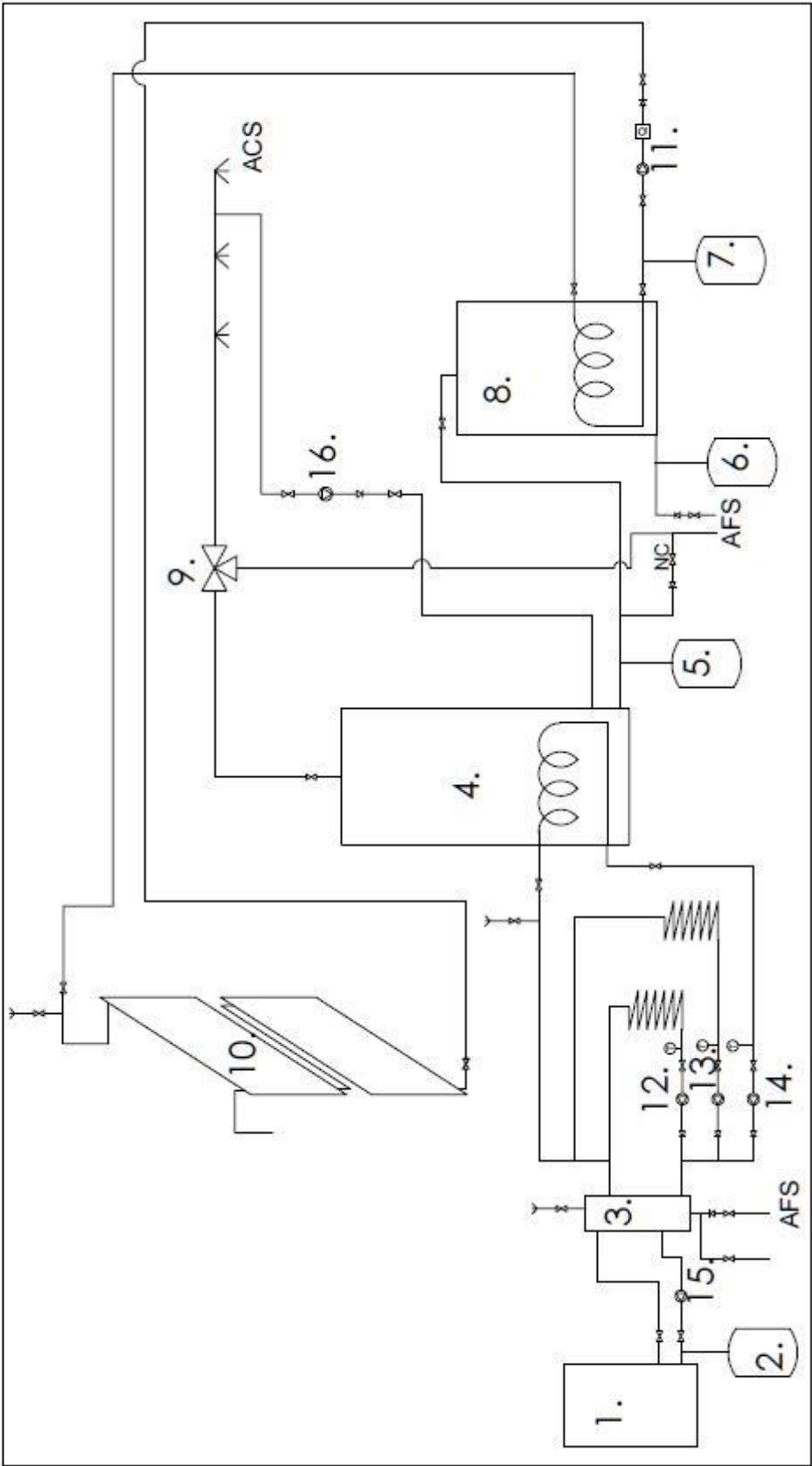
DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN EN UNA VIVIENDA SITUADA EN SANTANDER.
TRABAJO FIN DE GRADO



- ACS
- RECIRCULACIÓN

Instalación ACS Planta 2	Escala 1/100		6
Pedro Villa Pellicer	Trabajo Fin de Grado		

14.12 ESQUEMA DE INSTALACIÓN



7	
	
Esquema de instalación completo	Trabajo Fin de Grado
Pedro Villa Pellicer	

- 1. Caldera de aporte de pellets.**
- 2. Vaso de expansión del circuito de aporte.**
- 3. Separador hidráulico.**
- 4. Interacumulador de ACS.**
- 5. Vaso de expansión circuito ACS.**
- 6. Vaso de expansión circuito secundario solar.**
- 7. Vaso de expansión circuito primario solar.**
- 8. Interacumulador solar.**
- 9. Válvula mezcladora ACS.**
- 10. Colectores solares.**
- 11. Bomba de circulación del circuito primario solar.**
- 12. Bomba del circuito DIA de calefacción.**
- 13. Bomba del circuito NOCHE de calefacción.**
- 14. Bomba del circuito primario de intercambio de ACS.**
- 15. Bomba circuladora del sistema de aporte.**
- 16. Bomba recirculación ACS.**